

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES**

**TEMA:  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR  
PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA CON MATERIALES RECICLABLES  
PARA UNA VIVIENDA**

**AUTORES:  
ROCÍO ALEXANDRA CHISAGUANO CHISAGUANO  
ANDRÉS MARTIN VALDIVIESO YEROVI**

**TUTOR:  
EDUARDO RODRIGO TORRES SANTOS**

**Quito, mayo de 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros Rocío Alexandra Chisaguano Chisaguano con documento de identificación N°050400654-5 y Andrés Martin Valdivieso Yerovi con documento de identificación N°172263210-4, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA CON MATERIALES RECICLABLES PARA UNA VIVIENDA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Rocío Alexandra Chisaguano Chisaguano  
050400654-5

Andrés Martin Valdivieso Yerovi  
172263210-4

Quito, mayo de 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA CON MATERIALES RECICLABLES PARA UNA VIVIENDA** realizado por Rocío Alexandra Chisaguano Chisaguano y Andrés Martin Valdivieso Yerovi, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, mayo 2021



Eduardo Rodrigo Torres Santos

171365460-4

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios en primer lugar por la fortaleza, el conocimiento, así como la protección que me ha brindado todos los días de mi vida para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mi esposo Cristian, mi amigo y confidente, por sus oraciones, su amor, paciencia y apoyo incondicional, lo que me ha permitido seguir adelante con mis proyectos profesionales. A mi hija Zoe por ser la princesa de mis ojos y el motor que me ha impulsado a no rendirme, venciendo mis miedos, dando lo mejor de mí para llegar al logro alcanzado en este momento.

A mi madre María Chisaguano, mi inspiración y ejemplo de nunca rendirme pese a los problemas, por sus oraciones, consejos brindados y apoyo incondicional que supo brindarme para culminar con éxito mi carrera. A mis hermanos por sus oraciones, consejos, palabras de ánimo que supieron darme cuando más lo necesitaba.

A mis suegros Carlos Chimba y Dolores Pichucho, por sus oraciones y apoyo brindado durante este proceso de mi vida. Al Ing. Eduardo Torres de manera especial por habernos ayudado a desarrollar este tema de titulación, con las correcciones pertinentes en el transcurso de esta investigación.

**Rocío Alexandra Chisaguano Chisaguano**

En primer lugar, para completar el trabajo de esta tesis, me gustaría agradecer a Dios y a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme la oportunidad de estudiar y convertirme en un profesional.

Para mi madre, Jenny Yerovi, mi modelo a seguir, a pesar de los problemas, nunca se rindió. Por brindarme sus consejos y su apoyo incondicional, además por la oportunidad de completar con éxito mi carrera. A mi abuelita Ligia Jaramillo por ser un pilar importante en este proceso de mi carrera universitaria. Gracias a mis hermanos, tíos, primos y amigos por sus bendiciones, consejos, palabras de aliento y su apoyo incondicional, ellos saben darme cuando más lo necesito. A nuestro tutor de tesis Ing. Eduardo Torres por su arduo trabajo y dedicación, con su conocimiento, experiencia, paciencia y motivación, me permitió completar con éxito mis estudios.

Al señor Cristian Chimba y familia por la ayuda prestada en la construcción de este proyecto.

**Andrés Martín Valdivieso Yerovi**

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS .....	2
2.1	<i>General</i> .....	2
2.2	<i>Específicos</i> .....	2
3.	MARCO TEÓRICO.....	3
3.1	<i>Antecedentes de la Investigación</i> .....	3
3.2	<i>Fuentes de energía</i> .....	4
3.3	<i>Energías no renovables o convencionales</i> .....	4
3.3.1	Petróleo .....	4
3.3.2	Gas natural .....	5
3.3.2.1	Características del Gas Natural.....	5
3.3.2.2	Prospección y extracción.....	5
3.3.2.3	Usos del Gas Natural .....	8
3.3.3	Gas licuado de petróleo .....	9
3.4	<i>Energías renovables</i> .....	10
3.4.1	Energía solar.....	10
3.4.1.1	<i>Sol, como principal fuente de energía</i> .....	10
3.4.1.2	<i>Energía Solar Térmica</i> .....	12
3.4.1.3	<i>Ventajas y desventajas de la energía solar</i> .....	13
3.4.2	Energía hidráulica .....	14
3.4.3	Energía eléctrica.....	14
3.4.4	Calentadores eléctricos.....	15
3.5	<i>Termodinámica</i> .....	16
3.5.1	Calor y Temperatura .....	16
3.5.2	Transferencia de calor .....	17
3.5.2.1	Conducción.....	17
3.5.2.2	Convección .....	19
3.5.2.3	Radiación.....	21
3.6	<i>Tipos de Radiación solar</i> .....	22
3.7	<i>La radiación solar por el ángulo de incidencia</i> .....	24
3.8	<i>Sistemas solares de calentamiento de agua</i> .....	26
3.8.1	Sistemas pasivos.....	26
3.8.2	Sistemas activos .....	27
3.9	<i>Colectores solares</i> .....	28
3.9.1	Captación de energía solar de manera directa .....	30
3.9.2	Diseño de sistemas requeridos .....	31
3.9.3	Tipos de colectores solares.....	33
3.9.3.1	Colectores de placa plana con cubierta.....	33
3.9.3.2	Colectores de placa plana sin cubierta.....	34
3.9.3.3	Colectores de tubos de vacío .....	35
3.9.3.4	De flujo directo.....	36
3.9.3.5	Con Tubo de Calor (Heat Pipe) .....	37
3.9.4	Calentamiento solar de agua .....	38
3.9.5	Efecto invernadero .....	40
3.9.5.1	Tuberías dentro del colector .....	40
3.9.6	PET (Polietileno Tereftalato) .....	41
3.9.6.1	El PET a nivel mundial.....	41

3.9.6.2	Reciclaje de los envases PET .....	42
3.9.6.3	Reciclaje del PET en Ecuador .....	43
3.9.6.4	Centros de acopio PET .....	43
3.9.6.5	Ciclo de vida del PET.....	44
3.10	<i>Conductividad de materiales</i> .....	45
3.10.1	Bolsas de leche.....	45
3.10.1.1	UHT (Ultra High Temperature).....	46
3.10.1.2	Empaque .....	47
3.10.1.3	Funda de polietileno .....	47
3.10.2	Latas.....	48
3.10.2.1	Ventajas y desventajas.....	49
3.11	<i>Problemática de los desechos en Ecuador</i> .....	50
3.11.1	Impacto ambiental.....	51
4.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	55
4.1	<i>Materiales</i> .....	55
4.2	<i>Metodología</i> .....	56
4.2.1	Población y muestra .....	56
4.2.2	Métodos.....	57
4.2.3	Variables a evaluar en la investigación .....	58
4.2.4	Análisis estadístico.....	59
4.3	<i>Diseño</i> .....	59
4.3.1	Mecánica de fluidos .....	60
	Densidad .....	60
	Velocidad de flujo de volumen .....	60
	Área de un colector .....	61
	Número de tubos.....	61
	Calor útil .....	62
	Volumen de cilindro .....	62
	Flujo de calor ganado por el agua .....	62
4.4	<i>Diseños de los prototipos (AutoCAD)</i> .....	64
4.4.1	Diseño de prototipo 1 (botellas y aluminio).....	64
4.4.1.1	Función de las botellas plásticas.....	65
4.4.1.2	Función del aluminio en el interior de las botellas plásticas .....	66
4.4.2	Diseño de prototipo 2 (fondo negro) .....	66
4.4.3	Diseño de prototipo 3 (cubierta plástica) .....	68
5.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	70
5.1	<i>Análisis de resultados</i> .....	70
5.2	<i>Prototipo colector solar</i> .....	70
5.2.1	Análisis de la radiación solar en la ciudad de Quito .....	70
5.2.1.1	Sensores de la página Weather Spark.....	70
5.2.1.2	Datos de secretaría de ambiente estación Guamaní.....	71
5.2.2	Prototipo 1.....	72
5.2.2.1	Prueba 1 .....	73
5.2.3	Prototipo 2.....	75
5.2.3.1	Prueba 2 .....	76
5.2.4	Prototipo 3.....	77
5.2.4.1	Prueba 3 .....	78
5.3	<i>Cálculo de Error Relativo</i> .....	79
5.4	<i>Análisis de resultados con Energía Eléctrica</i> .....	81
5.5	<i>Análisis de resultados con GLP</i> .....	83

5.6	<i>Discusión de resultados</i> .....	87
5.7	<i>Análisis Económico</i> .....	88
5.7.1	Lista de materiales y de equipos .....	88
5.7.2	Costo por utilizar ducha eléctrica .....	92
5.7.3	Costo por utilizar GLP para calentar agua .....	92
5.7.3.1	Calculo del costo de gas por calentar 20 L de agua.....	93
	Costo de gas con subsidio .....	93
5.8	<i>Análisis Social</i> .....	95
5.8.1	Impacto social en el Ecuador por la energía solar.....	96
5.9	<i>Análisis Ambiental</i> .....	97
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	100
6.1	<i>Conclusiones</i> .....	100
6.2	<i>Recomendaciones</i> .....	101
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	102
8.	ANEXOS.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.conductividad térmica de algunos materiales .....	35
Tabla 2.Descripción y valores del material plástico .....	37
Tabla 3.Materiales para construcción .....	42
Tabla 4.Instrumentos de laboratorio .....	42
Tabla 5. Calor absorbido por el prototipo 1 .....	57
Tabla 6.Calor absorbido por el prototipo 2 .....	58
Tabla 7.Calor absorbido por el prototipo 3 .....	60
Tabla 8. Datos del error relativo .....	61
Tabla 9. Datos de calentamiento de agua con Ducha eléctrica.....	62
Tabla 10. Datos de calentamiento de agua con GLP .....	64
Tabla 11.Costos (Prototipo 1) .....	68
Tabla 12. Costos (Prototipo 2) .....	69
Tabla 13.Costos (Prototipo 3) .....	70
Tabla 14.Información de costos .....	72
Tabla 15.Comparacion de calentadores de agua.....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de extracción del gas natural.....	7
Figura 2. Proceso del gas natural en la Industria .....	7
Figura 3. calentador de ducha eléctrico .....	13
Figura 4. Simulación de transferencia de calor por conducción. ....	15
Figura 5. Transferencia de calor por convección. ....	16
Figura 6. Simulación de enfriamiento. ....	16
Figura 7. Transferencia de calor por radiación. ....	17
Figura 8. Tipos de radiación .....	18
Figura 9. Ángulo de incidencia de radiación solar .....	20
Figura 10. Sistema solar termosifónico para calentamiento de agua.....	23
Figura 11. Colector solar con cubierta .....	25
Figura 12. Colector solar sin cubierta .....	26
Figura 13. Colector de tubos de vacío .....	27
Figura 14. Colector de tubos de vacío de flujo directo .....	28
Figura 15. Tubo de calor en funcionamiento .....	29
Figura 16. Ciclo de vida del PET .....	34
Figura 17. Colector solar a base de latas.....	38
Figura 18. Especies marinas afectadas por el plástico .....	40
Figura 19. Incineración de los plásticos.....	41
Figura 20. Área de ubicación del colector solar .....	43
Figura 21. Prototipo 1 con botellas plasticas y aluminio .....	49
Figura 22. Prototipo 2 con fondo negro de fundas de leche .....	51
Figura 23. Prototipo 3 con una cubierta plástica en la parte superior.....	52
Figura 24. Termocupla de laboratorio .....	52

Figura 25.Aumento de temperatura del agua en el tanque del colector prueba con botellas PET y aluminio .....	56
Figura 26.Aumento de temperatura del agua en el tanque del colector prueba con fondo negro .....	58
Figura 27.Aumento de temperatura del agua en el tanque del colector prueba con cubierta plástica .....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.Radiación solar sensores de Weather Spark.....	85
Anexo 2.Datos de radiación solar de la estación de Guamaní.....	86
Anexo 3.Construcción del colector solar .....	87
Anexo 4.Datos obtenidos .....	93
Anexo 5.Calentamiento de agua con GLP y ducha eléctrica.....	96
Anexo 6.Tarifa de consumo eléctrico para Quito .....	102

## RESUMEN

El trabajo de investigación realizado presenta el diseño y construcción de un prototipo de colector solar para el calentamiento de agua en una vivienda, mismo que fue elaborado con materiales reciclables como: botellas PET, bolsas de leche, Pallet de madera y manguera negra, entre otros materiales necesarios para la construcción. Este prototipo utiliza como principal fluido el agua, este pasa a través de la tubería y manguera cubierta con botellas PET generando un efecto invernadero en su interior, produciendo el calentamiento del mismo. Se utilizó el colector solar original para implementar adecuaciones generando tres prototipos, en los cuales se realizaron pruebas en los días 11 al 19 de diciembre de 2020 en el horario de 9:00 am a 1:00 pm, con la toma de estos datos experimentales cada 10 minutos para verificar el funcionamiento de cada prototipo y obtener valores de temperatura respecto al tiempo con la radiación solar recibida en la ciudad de Quito.

Con las pruebas realizadas y el cálculo del calor absorbido se obtuvo en el prototipo 2 un valor de 144,96 [Wh], alcanzando una temperatura máxima de 41,3 [°C] con la implementación del fondo negro, para el prototipo 1 con botellas PET se tiene un valor de calor absorbido de 94,38 [Wh] llegando a una temperatura máxima de 30,1 [°C] y en el prototipo 3 con cubierta plástica se tiene un valor de calor absorbido de 93,41 [Wh], alcanzando una temperatura máxima de 32,6 [°C]. Se procedió a realizar el análisis económico del sistema alternativo de calentamiento de agua respecto a la ducha eléctrica y el uso de GLP, obteniendo que para el colector solar se necesite una inversión inicial de \$200 adquiriendo materiales de primera mano, cabe mencionar que para calentar 20 [L] de agua su valor es de \$0 y no genera contaminación al medio ambiente, a diferencia de la ducha eléctrica y el GLP que tienen costos de calentamiento de agua entre \$0,03 y \$0,06 para los 20 [L] y además para su producción se da la quema de combustibles fósiles generando emisiones a la atmosfera que dan paso al efecto invernadero.

**Palabras claves:** Colector solar, calor absorbido, radiación solar, calentamiento de agua, prototipo, efecto invernadero

## ABSTRACT

This research work presents the design and construction of a prototype of a solar collector for heating water in a house, which was made with recyclable materials such as PET bottles, milk bags, wooden pallet and black hose, among other materials necessary for the construction. This prototype uses water as the main fluid, which passes through the pipe and hose covered with PET bottles generating a greenhouse effect inside, producing the heating of the water. The original solar collector was used to implement adaptations generating three prototypes, in which tests were carried out from December 11 to 19, 2020 from 9:00 am to 1:00 pm, taking experimental data every 10 minutes to verify the operation of each prototype and to obtain temperature values with respect to the time with solar radiation received in the city of Quito.

With the tests carried out and the calculation of the absorbed heat, a value of 144.96 [Wh] was obtained in prototype 2, reaching a maximum temperature of 41.3 [°C] with the implementation of the black background, for prototype 1 with PET bottles there is an absorbed heat value of 94.38 [Wh] reaching a maximum temperature of 30.1 [°C] and in prototype 3 with plastic cover there is an absorbed heat value of 93.41 [Wh], reaching a maximum temperature of 32.6 [°C]. The economic analysis of the alternative water heating system with respect to the electric shower and the use of GLP was carried out, obtaining that the solar collector requires an initial investment of \$200, acquiring first hand materials, it is worth mentioning that to heat 20 [L] of water its value is \$0 and it does not generate environmental pollution, Unlike the electric shower and GLP that have water heating costs between \$0.03 and \$0.06 for 20 [L] and also for its production fossil fuels are burned generating emissions to the atmosphere that give way to the greenhouse effect.

**Keywords:** Solar collector, absorbed heat, solar radiation, water heating, prototype, greenhouse effect.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

$\dot{m}$	Caudal másico $\left[\frac{kg}{s}\right]$
$A_{ef}$	Área efectiva del colector $[m^2]$
$D_i$	Diámetro de la placa absorbadora $[m]$
$L_{ta}$	Longitud del tubo para almacenar el agua $[m]$
$Q_{util}$	Calor útil $[W]$
$D$	Diámetro interno del cilindro $[m]$
$L$	Longitud del cilindro $[m]$
$\dot{Q}_{agua}$	Flujo de calor al agua $[W]$
$T_{fo}$	Temperatura del agua a la salida del calentador $[^{\circ}C]$
$T_{fi}$	Temperatura del agua a la entrada del calentador $[^{\circ}C]$
$A_c$	Área de la sección transversal $[m^2]$
$C_p$	Calor específico del agua $[kJ/kg\ ^{\circ}C]$
$G_s$	Radiación solar difusa $[W/m^2]$
$T_i$	Temperatura del agua fría $[^{\circ}C]$
$T_f$	Temperatura del agua caliente $[^{\circ}C]$
$T$	Tiempo $[s]$

## SIGLAS

PVC	Policloruro de vinilo
PET	Politereftalato de etileno
GLP	Gas Licuado de Petróleo
SODIS	Método solar de desinfección de agua

## REPRESENTACIONES GRIEGAS

$P$	Densidad de la sustancia $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzman $[W/m^2-K^4]$
$\alpha$	Coeficiente de adsorción $[cm^{-1}]$

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de combustibles fósiles, el tema del calentamiento global ha causado gran preocupación en todo el mundo, al quemar combustibles fósiles, debido a que emiten gases nocivos que destruyen la capa de ozono.

El progreso industrial ha llevado a un aumento en la producción de envases plásticos. Este producto existe en casi todas las etapas y aspectos de nuestra vida. En algunos casos, las botellas de PET no pueden ser reutilizadas y descartadas, eventualmente conduciendo a vertederos, rellenos, etc. Provoca grave impacto ambiental. Se tiene dos estadísticas inmediatamente antes del problema del PET: primero, en el mundo, las personas adquieren por minuto un millón de botellas plásticas. En otro caso, el 91% de todos los plásticos no se reciclan (Nace, 2017).

Al ver esta problemática proponemos el desarrollo de un prototipo de colector que utiliza la energía del sol para calentar el agua de una vivienda ubicada en el Sector Chillogallo en el Barrio Martha Bucaram, el propósito es utilizar materiales reciclables para implementar nuevas alternativas tecnológicas, reducir el uso de energía tradicional y utilizar energías renovables. La construcción de ingeniería limpia e inagotable no traerá pérdidas económicas a los residentes locales ni a la familia beneficiaria del proyecto.

El tema *propuesto* " sistema alternativo para calentamiento de agua utilizando la energía solar, sistema SODIS (Método solar de desinfección de agua), en una vivienda del cantón colimes", este trabajo se utilizó como base para la construcción de un colector de materiales reciclables, eliminando la parte de desinfección de agua (Cabrera y Ríos, 2014).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

- Diseñar y construir un sistema de calentamiento de agua con materiales reciclables para la reducción del consumo de energías convencionales.

### **2.2 Específicos**

- Diseñar un prototipo de colector solar para la obtención de agua caliente de uso sanitario.
- Implementar nuevas alternativas tecnológicas con materiales reciclables para mejorar el proceso de calentamiento en el colector solar.
- Realizar pruebas experimentales para verificar la operación del colector solar.
- Cuantificar el ahorro energético del colector solar frente a dos energías convencionales.



### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la Investigación**

Cabrera y Ríos (2014) indican que su investigación se basa en utilizar energías alternativas no contaminantes, quien realizó la propuesta “sistema alternativo para calentamiento de agua utilizando la energía solar, sistema SODIS (Método solar de desinfección de agua), en una vivienda del cantón colimes”. La solución a la problemática de contaminación por parte de las energías convencionales. El avance de la industria y el crecimiento excesivo de los pobladores a nivel mundial y un alto consumismo, están generando grandes problemas, desequilibrios ecológicos y ambientales, por esto que se busca realizar un prototipo de colector solar para aprovechar la energía del sol y abastecer de agua caliente para viviendas que no cuentan con este servicio.

Según Calero y Villaroel (2019) en su investigación, denominada “Diseño y construcción de un sistema de calentador de agua activado mediante el uso de politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo y cobre”. Este estudio demostró que se puede realizar un sistema de agua caliente utilizando diferentes materiales y una construcción simple.

Miranda (2018) propone el “Diseño y medición del rendimiento de un colector solar de agua sanitaria construido a partir de botellas recicladas de doble capa” visualiza una alternativa a una problemática ambiental de los desechos plásticos y su reutilización. En el uso de calentadores se propone un método alternativo para reducir el consumo de

energía, tales como: tanques calientes o calentadores de agua instantáneos que utilizan gas, electricidad o leña para operar.

### **3.2 Fuentes de energía**

Las fuentes de energía se dividen en dos grupos principales, conocidas como energías no renovables y las energías renovables (Calero y Villaroel, 2019).

### **3.3 Energías no renovables o convencionales**

La energía no renovable se refiere a la energía que no se regenerará o su ritmo es mucho más lento que su tasa de consumo, razón por la cual estas fuentes de energía eventualmente se agotarán (Llanes y Guastay, 2020).

#### **3.3.1 *Petróleo***

Según Jaimes (2012) menciona que el origen del petróleo es muy similar al del carbón, y su origen son plantas y animales prehistóricos que viven en mares poco profundos. Los residuos de estos organismos están cubiertos de limo y sedimentos. Estos residuos se convierten en rocas consolidadas bajo la influencia del peso, la temperatura y la presión del sedimento. Durante millones de años, el carbono (C) y el hidrógeno (H) se han separado de las rocas y han formado petróleo. El contenido de H y C determina si el producto formado es sólido (carbón mineral) o fluido (aceite).

La quema de petróleo produce emisiones de CO<sub>2</sub>, el cual es uno de los principales gases de efecto invernadero. La extracción de petróleo traerá problemas ambientales, como derrames o filtraciones que contaminarán el agua

y el suelo; la privación de tierras para el desarrollo es otro problema social que lleva al uso de este recurso. Las reservas de petróleo son limitadas y se espera que su consumo continúe manteniendo el estilo de vida actual (p. 67).

### **3.3.2 *Gas natural***

Es una mezcla de hidrocarburos naturales en estructuras subterráneas, generalmente en forma gaseosa. Este gas se compone de un elemento principal como el metano (80%) y la mayor parte de etano, propano y butano. Siempre habrá algo de agua condensada y / o aceite en el gas (PERUPETRO S.A., 2010).

#### **3.3.2.1 Características del Gas Natural.**

PERUPETRO S.A. (2010) menciona algunas características principales del gas natural, como:

- Combustible fósil, inodoro e incoloro.
- Por el contrario, se quema más limpio que otros combustibles (menores cantidades de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno), S (azufre) y cenizas).
- Los motores y quemadores de gas poseen una fácil limpieza y mantenimiento.

#### **3.3.2.2 Prospección y extracción**

Vargas y León (2016) indican que cuando se detecte una bolsa de gas, la recolección de datos continuará para decidir si utilizar el campo; esto dependerá de la profundidad encontrada, su volumen y algunas características de la capa

ubicada arriba, etc. A través de la sonda instalada en la estructura metálica de la torre, se puede acceder a la bolsa para determinar su composición química y presión de gas, si se determina que el tanque será rentable se puede poner en funcionamiento el pozo.

Cuando el gas no se mezcla con aceite, debido a que este producto surge de forma natural, no hay necesidad de levantarlo al suelo mecánicamente, simplificando así el trabajo de minería. A veces, el agua se acumula en el pozo, por lo que se debe bombear agua para mantener una producción óptima (p. 198).

La Figura 1 indica el proceso de extracción del gas natural, que comienza con los trabajos de exploración y extracción, que incluye actividades que pueden interferir con la flora y fauna del área. Sin embargo, dado que se han tomado medidas preventivas y correctivas para restaurar el medio ambiente a su estado natural, el impacto de estos proyectos en el medio ambiente es temporalmente limitado. Cuando el campo de gas natural se considera agotado, la plataforma de perforación se desmantelará, el pozo se derribará y sellará o se utilizará como tanque de almacenamiento de gas natural (p. 205)

**Figura 1**

*Proceso de extracción del gas natural*

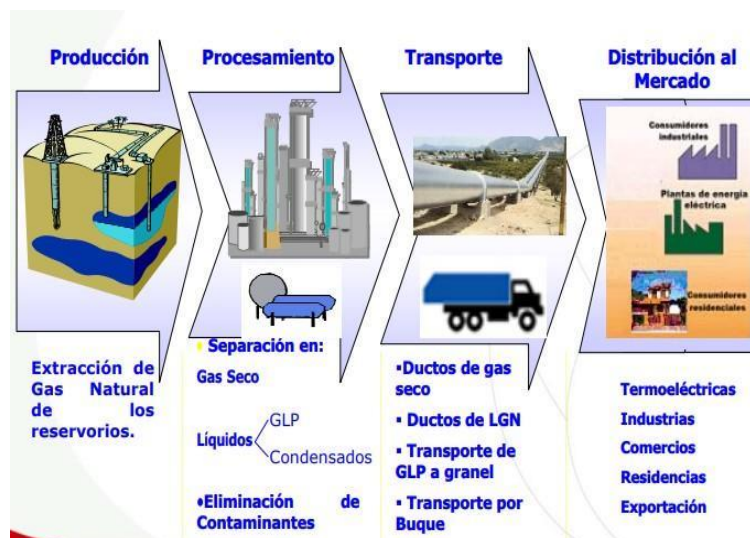


Nota: Aquí se presenta el proceso de extracción del gas natural desde los yacimientos hasta la Industria. Tomado de *Industria Grupo Vanti*, por Grupo Vanti, 2017.

La industria del gas natural como se indica en la figura 2 realiza una serie de procesos con el fin de obtener un producto terminado para su venta y posterior uso.

**Figura 2**

*Proceso del gas natural en la Industria*



Nota: Procesos del gas natural desde la producción hasta la distribución al mercado. Tomado de *Industria Grupo Vanti*, por Grupo Vanti, 2017.

### 3.3.2.3 Usos del Gas Natural

Según Grupo Vanti (2017) el gas natural tiene muchos usos:

- **Generación de energía:** Se utiliza como fuente de combustión y así generar electricidad mediante generadores de turbina instalados en centrales térmicas.
- **Como combustible en la industria:** se utiliza principalmente en hornos y calderas, es una opción idónea para industrias cementeras, ladrillo, vidrio, cerámica, metalúrgica, alimentación, papel, textil, pesca y otras.
- **En el sector comercial:** utilizado como combustible apto para hoteles, hospitales, panaderías, restaurantes, cocinas y preparación de alimentos, agua caliente y calefacción.
- **En el sector residencial:** En el hogar, se utiliza gas natural para cocinar alimentos, proporcionar agua caliente y calefacción.
- **En transporte:** Se utiliza en forma de gas natural comprimido (GNC) para vehículos que poseen motores de combustión interna. Reemplaza a la gasolina y tiene ventajas debido a su alto índice de octano (aproximadamente 120 octanos), menor costo y menor incidencia de contaminación ambiental.
- **En la industria petroquímica:** se utiliza para la fabricación de diferentes productos, los cuales se denominan productos petroquímicos.

### **3.3.3 Gas licuado de petróleo**

Primagas (2020) señala que hay dos fuentes de gas licuado de petróleo: el 60% de la producción se obtiene del proceso de extracción de gas natural y petróleo del suelo. El 40% sobrante se produce en la refinación de petróleo crudo. Por tanto, el gas licuado de petróleo es un subproducto natural. En el pasado, el gas licuado de petróleo se destruía por gasificación o combustión (era un producto indeseable y se quemaba). Hacerlo desperdicia gran parte de energía.

El gas licuado de petróleo (GLP) está compuesto por propano y butano (gases pesados), que se puede licuar total o parcialmente a presión para facilitar su transporte y almacenamiento. El GLP se puede utilizar para cocinar, calentar o como combustible para automóviles.

En Ecuador el costo del Gas licuado de Petróleo se encuentra en el valor de \$1.60, un precio que puede ser asumido por la ciudadanía debido a que la mayoría de las personas utilizan este combustible para usos domésticos.

El Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (2020) indica que, para la transferencia o venta de gas licuado de petróleo nacional, se agregará el número de identificación o ciudadanía del destinatario al recibo de venta que se emitirá como requisito adicional.

El Gobierno Nacional afirmó que garantizará el normal suministro de gas licuado de petróleo nacional en todo el país, y tomará los controles y sanciones correspondientes de acuerdo con las leyes y normativas vigentes en beneficio de los ecuatorianos.

### **3.4 Energías renovables**

Llanes y Guastay (2020) mencionan que en la actualidad, la energía renovable se considera un insumo importante para la sostenibilidad, por lo que es de gran importancia promover su crecimiento. Desafortunadamente, en los últimos 100 años, hemos utilizado fuentes de energía no renovables, como el petróleo, el carbón y la energía nuclear. Además de estar al borde del agotamiento, todavía existen dióxido de carbono, óxido nítrico, metales pesados, residuos nucleares, etc., que contaminan la atmósfera y la tierra; por lo que el equilibrio ecológico de nuestro planeta está en peligro. En la tecnología moderna se considera la energía del viento, el agua, la biomasa, el sol, la geotermia e incluso los materiales considerados desechos.

La energía renovable proviene de recursos naturales como el sol, el agua, el aire y la energía geotérmica (calor del interior de la tierra). A pesar de que podrían en algún momento significar un impacto al medio ambiente, este es muy pequeño en comparación con las de uso convencional o no renovable anteriormente mencionado (p. 15).

#### **3.4.1 *Energía solar***

##### **3.4.1.1 Sol, como principal fuente de energía**

El sol es la principal fuente de energía de la tierra, el uso de esta fuente de energía aumenta el desarrollo y la investigación del sistema. El sol se origina a partir del proceso de fusión nuclear en su interior, que conduce a una temperatura alta, que llega



en forma de ondas electromagnéticas tras múltiples interacciones con la atmósfera (Torres Santos y Bucheli Naranjo, 2017).

La energía solar que proviene del sol en forma de radiación solar puede ser una fuente alternativa de energía. Cuando esta radiación incide sobre una superficie absorbente, la superficie absorbe calor y este calor se utiliza como fuente de calentamiento de agua. Esta agua calentada se usa para muchos propósitos; a veces para producir vapor que se utiliza en aplicaciones domésticas e industriales (Himangshu, 2017).

La energía solar es considerada una de las mejores opciones para la humanidad en el futuro, porque es la fuente de energía renovable más abundante. El *sol* “emite alrededor de  $3.8 \times 10^{23}$  [kW], lo cual un aproximado de  $1.8 \times 10^{14}$  [kW] son captados por nuestro planeta, esta llega en forma de luz y calor. Gran parte de esta se pierde por dispersión, reflexión y absorción por las nubes” (Salamanca, 2017).

Krawczyk et al. (2019) señala que la tecnología solar proporciona energía renovable limpia; no causa problemas ambientales, ecológicos y de la tierra; y se ajusta al concepto de desarrollo sostenible a diferencia de la energía tradicional generada por tecnología de energía de carbón.

Himangshu (2017) indica que por el aumento de la demanda de energía y los costos de combustibles fósiles (es decir, gas natural o petróleo), la energía del sol se está convirtiendo en una fuente importante de energía renovable, es por ellos que los sistemas solares de calentamiento de agua son los más baratos y consumen alrededor del 20% del consumo total de energía de una familia.

Además, debido a la creciente población urbana, es digno de destacar que la mejora del acceso a la energía es un medio fundamental para el avance de la calidad de vida y el nivel socioeconómico de la población en crecimiento de un país que podría mejorar la contribución de los ciudadanos al crecimiento económico y la sostenibilidad del medio ambiente.

Baddou (2017) indica que hoy en día, los usos más importantes de la energía solar son para la industria y la edificación residencial, para la producción de electricidad a través de plantas de energía solar térmica o instalaciones fotovoltaicas, o para el calentamiento de agua doméstica y producción de electricidad a través de módulos fotovoltaicos domésticos. Sin embargo, la energía solar se puede utilizar para otros medios como: ventilación con energía solar, calefacción de piscinas, bombeo de agua, carga de energía de dispositivos electrónicos y cocina.

#### **3.4.1.2 Energía Solar Térmica**

Cacho y Mendoza (2014) señalan que esta energía se usa para la producción de agua caliente de baja temperatura para uso sanitario o calefacción, para esto se aprovecha la radiación solar que emite el sol, mediante un captador plano de cubierta vidriada. El calor se transfiere al fluido que circula por el interior, agua, aire o anticongelante. Este fluido transfiere calor a donde se necesita: calefacción de una casa o edificio, agua caliente sanitaria en un fregadero o cocina. Libera calor en el punto de consumo, vuelve al panel para recalentar y reiniciar el ciclo.

Esta energía térmica puede almacenarse en el depósito acumulador o también en el mismo fluido para que pueda ser utilizada posteriormente en otros puntos de consumo (p. 20)

#### **3.4.1.3 Ventajas y desventajas de la energía solar**

Según Calero y Villaroel (2019) han demostrado que la energía solar no solo es buena para el medio ambiente, sino también extremadamente económica. Además, debido al aumento de la demanda, la tecnología ha logrado mejoras considerables y se ha convertido en una fuente de energía limpia eficaz con las siguientes ventajas y desventajas:

##### **Ventajas de la energía solar**

- Se proporciona calefacción en invierno y refrigeración en verano.
- Existe permanentemente en el sistema terrestre.
- Es un recurso gratuito, actualizado diariamente.
- No tiene desperdicio alguno.
- No necesita ser desinfectado, por lo que no tiene costo.
- Obliga a los ingenieros desarrolladores a innovar.
- Fomenta más la investigación.

##### **Desventajas de la energía solar**

- El costo de implementar la tecnología inicial es alto.
- Requiere una investigación interdisciplinaria.
- Necesitas un centro de investigación.

- Necesita ingeniería de aplicaciones.
- Falta de interés en el gobierno actual (p. 11).

### **3.4.2 *Energía hidráulica***

Esta es una energía limpia que utiliza el poder del agua que cae. Estas instalaciones están ubicadas en presas y utilizan como energía agua almacenada en pantanos o embalses; al caer, el agua circula en la turbina y se transfiere al alternador para convertirla en energía eléctrica (Calero y Villaroel, 2019).

La energía eléctrica que se produce en el Ecuador tradicionalmente se obtiene de la energía hidráulica (renovable) mediante centrales hidroeléctricas y un cierto porcentaje de energía térmica (no renovable) proveniente de combustibles fósiles (p. 10).

### **3.4.3 *Energía eléctrica***

Macías et al. (2018) indica que la generación eléctrica se inició en Ecuador en 1897, cuando se transportaron generadores desde el vecino Perú y se llevaron a Loja, pero no fue hasta dos años después (1 de abril de 1899) que Ecuador comenzó a generar electricidad. En 1973, 76 años después, sus calles se iluminaron intensamente, gracias a la gestión de EERSSA (Empresa Eléctrica regional del Sur S.A.).

La potencia nominal en 2016 fue de 8.226,42 [MW] y la potencia efectiva de 7.606,88. La producción en 2007 fue de 17.336,66 [GWh], la producción en 2016 aumentó un 57,55%, la generación de energía fue de 27313,86 [GWh] y la energía hidroeléctrica

contribuyó con un 57,97%. El consumo de combustible es de 2'855,183.63 [TEP], el combustible ocupa el primer lugar, el gas natural el segundo y el bagazo el cuarto (p. 4).

El precio promedio facturado por el grupo de consumidores es: residencial 10,1746 centavos de dólar por [kWh], industrial 9,46 centavos, comercial 10,41 centavos, alumbrado público y otros 8,72 centavos de dólar por [kWh] (p. 6).

#### **3.4.4 Calentadores eléctricos**

Como señalan Moreano et al. (2019) los calentadores eléctricos juegan un papel importante en el sistema de calefacción. Se dice que en un calentador eléctrico el 99% se convierte en calor al consumirse la energía, por lo que su potencia eléctrica es casi igual al poder calorífico. Varios autores mostraron cómo combinar calentadores eléctricos eficientes con tecnología de control para regular la temperatura.

En la actualidad, el defecto primordial de estos calentadores eléctricos como se muestra en la figura 3, es su alto consumo de energía, ya que calentar una cierta cantidad de agua requiere mucha energía eléctrica. Normalmente, esta energía eléctrica es generada por níquel. Cuando se abre el grifo, conectarse a la red al 100% de potencia representa un alto costo de electricidad, y si el equipo funciona varias horas al día, el costo es mayor.

En 2010, se alcanzó 12.789 millones de toneladas de petróleo equivalente ([Mtep] en la producción mundial de energía primaria,  $1 \text{ [Mtep]} = 41,84' \times 10^9 \text{ [J]}$ ), y la energía que se consumió a nivel mundial en el mismo año fue de 8.676,6 [Mtep] (Estrada, 2013).

**Figura 3**

*Calentador de ducha eléctrico*



Nota: Ducha eléctrica para proporcionar agua caliente. Tomado de *los 5 mejores calentadores de agua eléctricos para la ducha*, por Camargo, 2018.

### **3.5 Termodinámica**

Cengel y Ghajar (2011) en su libro *Transferencia de calor y masa* mencionan el concepto de termodinámica el cual es un tema fascinante que involucra energía. Tiene una amplia gama de aplicaciones, desde biología microscópica y electrodomésticos hasta vehículos, sistemas de generación de energía e incluso filosofía.

#### **3.5.1 Calor y Temperatura**

La temperatura es una magnitud física que se refiere a la sensación de calor y frío al tocar una sustancia. El calor es la energía producida por las diferencias de temperatura que se transfieren de una parte del cuerpo a otra o entre diferentes cuerpos. Mientras el cuerpo se reduzca de tamaño, el calor siempre fluirá desde un lugar de temperatura más alta hacia un lugar de temperatura más baja, aumentando así la temperatura de un lugar más frío y bajando la temperatura del área más cálida. Si no se realiza ningún trabajo, la energía no fluirá de un objeto de baja temperatura a un objeto de alta temperatura. La materia está compuesta

por átomos o moléculas en constante movimiento, por lo que tienen posición o energía potencial y el movimiento o energía cinética se convierte en calor, cambiando así la temperatura corporal (Uriol, 2016).

La energía solar térmica concentrada (CSP) trabaja para convertir el calor solar en electricidad, convirtiéndose en una fuente de manera inagotable y renovable (Kassem et al., 2017).

### **3.5.2 *Transferencia de calor***

Según Cengel y Ghajar (2011) señalan que existen tres formas diferentes de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Todos estos requieren una diferencia de temperatura y todos ocurren entre el medio con la temperatura más alta y el medio con la temperatura más baja.

#### **3.5.2.1 Conducción**

Se produce por la transferencia de energía de partículas más energéticas de cualquier sustancia hacia la contigua menos energética, como resultado de interacciones entre esas partículas.

La energía se transfiere por conducción y su flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente de temperatura normal así como se presenta en la ecuación 1:

$$qA = \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

**Donde:**

q: flujo de calor por unidad de área [ $\frac{kJ}{m^2}$ ]

A: Es el área de superficie de contacto [ $m^2$ ]

$\frac{\partial T}{\partial x}$ : Gradiente de temperatura en la dirección del fundente de calor

La figura 4 nos muestra la simulación de transferencia de calor por conducción.

**Figura 4**

*Simulación de transferencia de calor por conducción.*



Nota: Esquema demostrativo del proceso de conducción a través de un material. Tomado de *Transferencia de calor y masa*, por Cengel y Ghajar, 2011.

Al introducir la constante de proporcionalidad:

$$Q = -\frac{KA}{x} \Delta T \text{ (Ley de Fourier)} \quad (2)$$



**Donde:**

$Q$ : Calor transmitido por unidad de tiempo [ $\frac{J}{s}$ , W]

$K$ : Conductividad térmica del material [ $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ ]

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas [ $^\circ C$ ]

$X$ : Espesor del material [ $m, mm$ ]

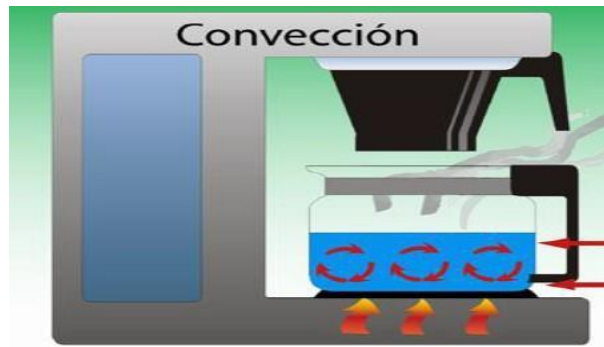
La conductividad térmica es definida por la ley de Fourier como se presenta aquí la ecuación 2 la cual posee unidades de vatios sobre metro por grado Celsius [ $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ ], en un sistema en donde el flujo de calor se expresa en vatios (pp. 17-24).

### **3.5.2.2 Convección**

Se produce mediante la transferencia de energía entre un sólido en movimiento y una superficie líquida o un gas continuo, y comprende el efecto combinado de conducción y movimiento de fluido, como se muestra en la Figura 5. Cuanto más rápido se mueve el fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. (pp. 25-26)

**Figura 5**

*Transferencia de calor por convección.*



Nota: Esquema demostrativo del proceso de convección a través de un material. Tomado de *Transferencia de calor y masa*, por Cengel y Ghajar, 2011.

Para expresar el efecto general de la convección, se utiliza la ley de enfriamiento de Newton que se presenta en la ecuación 3, este proceso se puede evidenciar en la figura 6.

$$Q = hA(TS - T_{\infty}) \quad (3)$$

**Donde:**

$Q$ : Calor transmitido por unidad de tiempo [ $\frac{J}{s}$ ], [W]

$h$ : coeficiente de transferencia de calor por convección [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ]

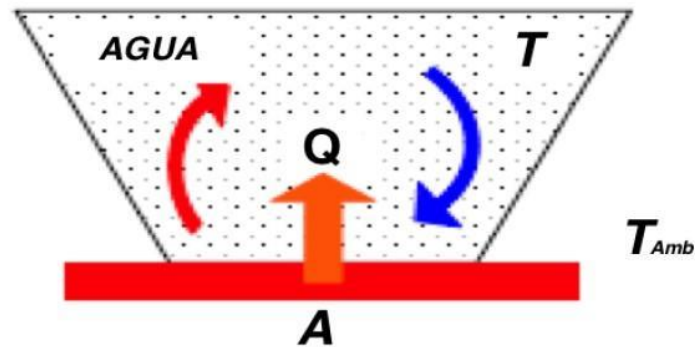
$A$ : área del cuerpo en contacto con el fluido [ $m^2$ ]

$TS$ : temperatura en la superficie del cuerpo [ $^\circ C$ ]

$T_{\infty}$ : temperatura del fluido lejos del cuerpo [ $^\circ C$ ]

**Figura 6**

*Simulación de enfriamiento.*



Nota: Esquema demostrativo en el que se expresa el efecto general de convección en la que se utiliza la ley de enfriamiento de Newton. Tomado de *Transferencia de calor y masa*, por Cengel y Ghajar, 2011.

Además de las propiedades térmicas del fluido (conductividad térmica, calor específico, densidad y área de contacto), la transferencia de calor por convección también depende de la viscosidad del fluido.

### 3.5.2.3 Radiación

Esto sucede cuando la materia emite energía en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) debido a cambios en la configuración electrónica de átomos o moléculas (pp. 27-28).

$$Q_{emitido} = \sigma \cdot A \cdot T_4 \quad (4)$$

**Donde:**

$\sigma$  Constante de proporcionalidad constante de Stefan Boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$ ).

La ley de Stefan Boltzman de la radiación se aplica exclusivamente a cuerpos negros como se observa en la figura 7. Tiene gran importancia mencionar que esta ecuación 4 sólo es válida para la radiación térmica. Otros tipos de radiación electromagnética no se pueden manejar tan fácilmente.

Como se mencionó, un cuerpo negro es aquel que irradia energía de acuerdo con la ley proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Estos objetos se denominan negros porque las superficies negras (como las hojas de metal recubiertas con carbón negro) se aproximan a este comportamiento.

**Figura 7**

*Transferencia de calor por radiación.*



Nota: Proceso de transferencia de calor desde el sol hacía un material absorbente. Tomado de *Transferencia de calor y masa*, por Cengel y Ghajar, 2011.

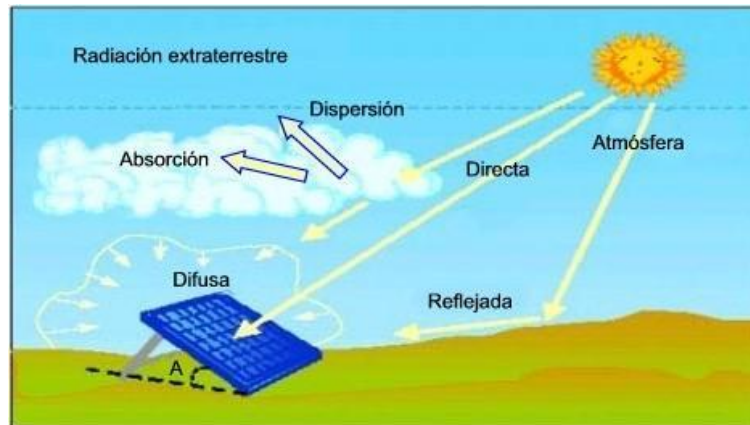
### **3.6 Tipos de Radiación solar**

Baddou (2017) señala que existen algunos tipos de radiación solar, que se pueden apreciar en la figura 8 y se mencionan a continuación:

- **Radiación directa:** La radiación directa se recibe de los rayos solares que viajan en línea recta desde el sol hasta la tierra. La radiación de dirección también se denomina radiación de haz o radiación de haz directo. Como la radiación directa son los rayos del sol que viajan en línea recta, por los objetos que se interponen se forman sombras. Las sombras indican la presencia de radiación directa.
- **Radiación difusa:** La radiación difusa no tiene una dirección fija. Cuando los rayos solares son dispersados por partículas presentes en la atmósfera, estos rayos solares dispersos explican la radiación difusa. Las sombras de los objetos no se formarán si solo se difunden y no hay radiación directa.
- **Radiación reflejada:** La radiación reflejada es el componente de la radiación que se refleja en superficies distintas de las partículas de aire. La radiación reflejada por colinas, árboles, casas, cuerpos de agua representa la radiación reflejada. La radiación reflejada generalmente representa un pequeño porcentaje de la radiación global, pero puede contribuir hasta en un 15% en las regiones nevadas.
- **Radiación global:** La suma de la radiación directa, difusa y reflejada da como resultado la radiación global (pp. 4-5).

**Figura 8**

*Tipos de radiación*



Nota: Esquema indicativo de los tipos de radiación solar. Tomado de *Qué es la radiación solar. Tipos de radiación solar*, por ESPACIOTECA, 2010.

### 3.7 La radiación solar por el ángulo de incidencia

La Tierra se mueve una revolución alrededor de su eje cada 24 h, da una rotación de aproximadamente  $15^\circ$  en 1 h, lo que significa que el rayo solar se desvía alrededor de  $2,5^\circ$  en 10 min (Himangshu, 2017).

Camargo (2013) señala que el captador de energía solar unido al colector se lo coloca en cualquier lugar de la superficie terrestre, por lo que el ángulo de incidencia variará mucho. Factores dependientes del ángulo de incidencia:

- Declinación [d]
- Latitud geográfica [L]
- Inclinación [s]
- Orientación [g]
- Ángulo horario [w], (p. 18).

Algunos autores no afirman que este ángulo sea la mejor opción para todo el año, pero los resultados muestran que en este ángulo de inclinación la luz reflejada máxima puede caer sobre el colector, lo que lleva a incrementar la transferencia de calor al agua que fluye a través del colector. De hecho, los ángulos de inclinación afectan fuertemente la tasa de transferencia de calor de los colectores solares de placa plana, y también notaron la máxima eficacia del colector en un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  desde la superficie horizontal (Himangshu, 2017, p. 119).

Un colector solar que recoge la radiación solar del día y caerá debido a un determinado día del año, está ubicado en un determinado punto de la tierra, por lo que posee latitud geográfica; también está inclinado con respecto al suelo, inclinado y orientado hacia un punto. El sol se va trasladando de posición a lo largo del día, por lo que tiene un ángulo horario (Camargo, 2013, p. 19).

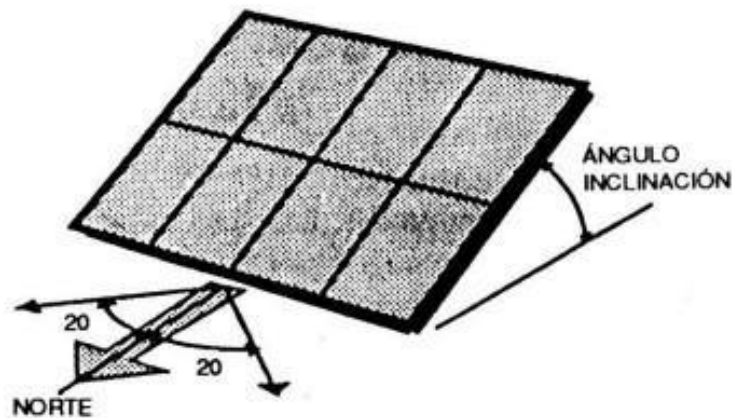
El ángulo de inclinación y posición del colector con respecto a la horizontal son factores importantes para la eficacia del mismo (Himangshu, 2017, p. 120).

Al disminuir el ángulo de inclinación del tubo de vacío con respecto al plano horizontal de  $45^\circ$  (el ángulo del colector en estudio) a  $20^\circ$  como muestra la figura 9, la capacidad de captación de energía solar se puede aumentar en un 23%, lo que obviamente aumentará la eficiencia del colector en 15-20 % (Calle et al., 2010).

La eficiencia del colector es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del colector. Sin embargo, al darse cuenta de la potencialidad de este problema, para mejorar el rendimiento del colector de placa plana, un prototipo de sistema de calefacción solar (colector) está diseñado y construido para mejorar el rendimiento del sistema (Himangshu, 2017, p. 120).

**Figura 9.**

*Ángulo de incidencia de radiación solar*



Nota: Captador solar que nos indica el ángulo adecuado de inclinación. Tomado de *Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables PET y análisis comparativo con otros colectores solares*, por Camargo, 2013.

### **3.8 Sistemas solares de calentamiento de agua**

Los sistemas de calefacción solar son un conjunto de componentes y subsistemas ensamblados, con el objetivo principal de aprovechar y convertir la energía solar en agua caliente para uso doméstico, además de que son de gran utilidad porque nos ayudan en el ahorro de dinero a largo plazo (Fauroux et al., 2016).

Los componentes para calentar agua doméstica de manera pasiva se pueden dividir en dos categorías:

#### **3.8.1 Sistemas pasivos**

Este tipo de sistemas solares utiliza la convección impulsada por calor como principio para hacer circular el agua o el fluido caloportador. El agua trabaja en circuito abierto, donde circula desde el almacenamiento hacia el colector solar con efecto termosifónico.



Son menos costosos los sistemas para calentar agua de manera pasiva y tienen un mantenimiento extremadamente bajo o nulo, pero la eficiencia del sistema pasivo es significativamente menor que la de un sistema activo. Calentamiento excesivo y la congelación son preocupaciones importantes (Verma, 2015).

### **3.8.2    *Sistemas activos***

Este tipo de sistemas solares utiliza bombas para hacer circular el fluido de trabajo. En esta categoría se pueden encontrar dos sistemas diferentes, el primero es de circulación directa, donde el agua es el fluido que circula desde el almacenamiento gracias y a través del colector solar y de regreso al almacenamiento o al uso, mientras que la circulación indirecta utiliza un fluido caloportador que circula en circuito cerrado entre un intercambiador de calor y el colector solar, el fluido caloportador cede la energía al agua a través de un intercambiador de calor (Chacon, 2015).

Aunque estos sistemas son un poco más caros, ofrecen varias ventajas:

- El tanque de almacenamiento puede situarse más bajo que el colector, permitiendo una mayor libertad en el diseño del sistema y el uso de tanques de almacenamiento preexistentes.
- El tanque de almacenamiento siempre se puede ocultar a la vista.
- El tanque de almacenamiento se puede colocar en acondicionamiento o semiespacio condicionado, reduciendo la pérdida de calor.
- Eficiencia superior.
- Mayor control sobre el sistema.

Krawczyk et al. (2019) menciona que los sistemas de agua solar activos modernos tienen controladores electrónicos que ofrecen una amplia gama de funciones, como la modificación de los ajustes que controlan el sistema, interacción con un sistema de agua de respaldo eléctrico o de gas.

La implementación de los sistemas solares térmicos brinda numerosas oportunidades y beneficios, que incluyen la reducción de gases de efecto invernadero que van hacia la atmósfera, seguridad energética, mejor acceso a la energía, estabilidad y resiliencia de la red, mejor calidad de vida y nuevas oportunidades de desarrollo económico. También puede mitigar las cargas sobre los gobiernos locales y la infraestructura al reducir la presión sobre el sistema eléctrico nacional y disminuir la contaminación producida por las fuentes de energía convencionales (p. 104).

### **3.9 Colectores solares**

Un colector solar o calentador solar es un dispositivo que utiliza energía del sol para el calentamiento del líquido (agua), que transfiere calor a una cámara de almacenamiento del mismo (Carretero, 2012).

Un calentador de agua solar de termosifón es el que funciona de forma pasiva (por convección natural), haciendo circular el agua a través de un colector solar hacia un tanque de almacenamiento aislado situado encima del colector. En este calentador de agua, no se requieren bombas ni controles (De la Torre, 2018).

Básicamente aprovecha en que el agua caliente suba y el agua fría baje. Cuando el agua alcanza la temperatura de calentamiento esta se expande, y a medida que

la gravedad arrastra hacia abajo las moléculas de agua fría relativamente más pesadas, las moléculas más calientes se elevan. Este fenómeno se conoce como convección natural. En este tipo de instalación, el tanque debe estar por encima del colector. A medida que el agua del colector se calienta, se vuelve más liviana y asciende naturalmente al tanque de arriba. Mientras tanto, el agua más fría del tanque fluye por las tuberías hasta el fondo del colector, lo que provoca la circulación por todo el sistema. El tanque de almacenamiento está unido a la parte superior del colector para que pueda ocurrir el sifón térmico (Husain, 2015).

La finalidad prevista de un termosifón es simplificar el bombeo de agua y / o la transferencia de calor, evitando el coste y la complejidad de una bomba de agua convencional. Un colector solar de calentamiento de agua de sifón térmico, el agua se calienta pasivamente por la energía solar y depende de la energía térmica que se transfiere del sol a un colector solar. El calor del colector se puede transferir al agua de dos maneras: directamente donde el agua circula a través del colector, o indirectamente donde la solución anticongelante transfiere calor desde el colector y a través del intercambiador de calor al agua en el tanque. La convección permite que el movimiento del líquido calentado fuera del colector solar sea reemplazado por un líquido más frío que a su vez se calienta. Debido a este principio, es necesario que el agua se almacene en un tanque encima del colector (p. 34).

Se evidencia que el país que posee una gran cantidad de colectores solares es China, tiene el 71% de la capacidad instalada mundial, que es una respuesta a la

contaminación causada por el uso de centrales térmicas de carbón fósil en la mayoría de las ciudades (Mora et al., 2017).

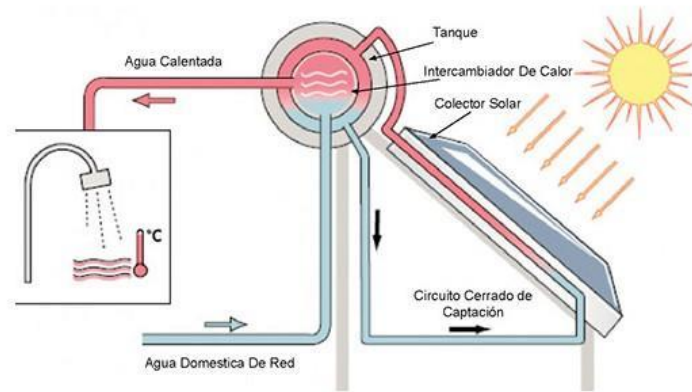
### **3.9.1 *Captación de energía solar de manera directa***

Para el calentamiento de fluidos que se encuentran debajo de los 80 [°C] implica el uso de la radiación solar térmica de baja temperatura. Se utilizan colectores solares, los cuales absorben la radiación y transfieren el calor que absorben determinados materiales, además por el hecho de que el vidrio es transparente a la radiación, produce un efecto invernadero, esto también lo realizan otros materiales similares. Radiación de onda corta del sol, radiación de onda larga de objetos calientes opacos (Barrientos, 2017).

(Lobato y Barrena, 2016), indican que el transporte de agua fría o caliente se da a través de un sistema de tuberías formando la energía solar térmica como se observa en la figura 10. Puede usar tubería de cobre, hierro galvanizado o plástico especial de cloruro de polivinilo (CPVC) para agua caliente. Para proteger su cuerpo y evitar que el agua irradie calor, debe estar debidamente aislado.

**Figura 10**

*Sistema solar termosifónico para calentamiento de agua*



Nota: Sistema de captación de energía solar para el calentamiento de agua con cada uno de sus elementos. Tomado de *Dimensionamiento para calentamiento de agua*, por Equipos de alto rendimiento, 2015.

### **3.9.2 Diseño de sistemas requeridos**

Según Verma (2015) nos menciona que el tipo, la complejidad y el tamaño de un sistema de calentamiento solar de agua están determinados principalmente por:

- Cambios de temperatura ambiente y radiación solar entre verano e invierno.
- Los cambios en temperatura ambiente durante el día y ciclo nocturno.
- La posibilidad del sobrecalentamiento del agua potable o del líquido colector.
- Posibilidad de congelación del agua potable o del líquido colector (p. 56).

Cacho y Mendoza (2014) mencionan que los equipos de energía solar térmica de baja temperatura están compuestos principalmente por estos elementos, y sus funciones son las siguientes:

- El sistema de captación formado por paneles solares se encarga de convertir la radiación solar incidente en energía térmica, de

manera que se calienta el fluido de trabajo que circula por los paneles.

- Un sistema de acumulación que consta de uno o más tanques que almacenan agua caliente hasta que se necesita.
- El circuito hidráulico está compuesto por tuberías de bombeo, etc.; es el encargado de establecer el movimiento del termofluido hacia el sistema de acumulación.
- El sistema de intercambio transfiere la energía térmica captada del circuito colector (circuito primario) al agua caliente consumida.

Por un lado, para el funcionamiento de equipos se encarga el sistema de regulación y control, para aportar la máxima energía térmica posible, y por otro lado se encarga de prevenir los efectos de diversos factores, como el sobrecalentamiento del sistema, el riesgo de formación de hielo, etc.

Cacho y Mendoza (2014) indican que se utilizan equipos auxiliares de energía convencional para completar la distribución de la energía solar, cuando la radiación solar es baja o la demanda es mayor a la esperada, proporciona la energía necesaria para cubrir la demanda y asegura la continuidad del suministro de agua caliente.

Los requisitos mínimos del sistema suelen estar determinados por la cantidad o temperatura del agua caliente, requerido durante el invierno al momento de que en la salida de un sistema y la temperatura del agua entrante están típicamente en su nivel

más bajo. En cambio, cuando existe mucha radiación el sistema está determinado para evitar que el agua en el sistema se vuelva demasiado caliente (Verma, 2015, p. 58).

### **3.9.3 Tipos de colectores solares**

Placco et al. (2017) nos enseñan que existen variedad de colectores solares térmicos, diferenciándose por el aislamiento térmico, la utilización o no de concentradores, adaptándose a diferentes temperaturas, como son los:

- Colectores solares de placa plana con cubierta
- Colectores solares de placa plana sin cubierta
- Colectores solares de tubo de vacío

#### **3.9.3.1 Colectores de placa plana con cubierta**

Estos colectores se usan para los componentes de calefacción domésticos y calentar agua, su composición consta de un cajón metálico aislado con cubierta de vidrio o plástico y placa de absorción oscura. Esta radiación la absorbe la placa que está elaborada de un material que transfiere de manera rápida el calor a un fluido que circula por las tuberías del colector como se indica en la figura 11.

**Figura 11**

*Colector solar con cubierta*



Nota: Captador de energía solar para el calentamiento de agua con cubierta. Tomado de *Colector solar ecoextens*, por FERROLI, 2017.

Estos tipos de colectores calientan el fluido en circulación a una temperatura mucho más baja que el punto de ebullición del agua, son los más usados para aplicaciones que requieren temperaturas entre 30 a 70 [°C]. Se utilizan mayormente en el calentamiento de sistemas domésticos, comerciales y en piscinas cubiertas (p. 1).

### **3.9.3.2 Colectores de placa plana sin cubierta**

Estos son sencillos y económicos, poseen un absorbedor, pero no poseen una cubierta transparente como se observa en la figura 12. No contiene aislamiento adicional, por lo que solo gana 20 [°C] por encima de la temperatura del aire ambiente, y adecuados para aplicaciones de baja temperatura son los más idóneos. Actualmente, se utilizan para calentar piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, como el calentamiento estacional de piscinas cubiertas,



agua para lavado de coches y agua para piscicultura. Estos recolectores también tienen mercados potenciales de suministro de agua caliente en áreas remotas, como campamentos de verano (p. 3).

**Figura 12**

*Colector solar sin cubierta*



Nota: Captador de energía solar para el calentamiento de agua sin cubierta. Tomado de *Colectores solares para agua Caliente*, por Placco et al., 2017.

### **3.9.3.3 Colectores de tubos de vacío**

Estos colectores consisten en un mezclado de tubos de vacío, cada uno de los cuales contiene un absorbente (generalmente una placa de metal negro o tratada selectivamente), recolecta la energía del sol y la transfiere al fluido (caloportador). Debido al rendimiento del aislamiento al vacío, la pérdida de calor es baja y puede alcanzar temperaturas entre los 77 a 177 [°C]. Estos colectores se los utiliza para altas temperaturas. Como se aprecia en la figura 13.

**Figura 13**

*Colector de tubos de vacío*



Nota: Captadores de energía solar para el calentamiento de agua de tubos de vacío. Tomado de *Tubos de vacío, tecnología eficaz en colectores solares*, por Ecofener, 2018.

Debido a que es cilíndrico, utiliza de manera más eficiente la radiación que los colectores planos, en gran parte del día, los rayos del sol inciden verticalmente en el tubo. La eficiencia de estos colectores es aproximadamente un 30% mayor que la de los colectores planos, pero son muy costosos y el costo por unidad de área suele ser el doble que el de los colectores planos (p. 4).

Según el método de intercambio de calor entre placas y fluidos caloportadores se tiene dos tipos de colectores de tubos de vacío:

- De flujo directo
- Con Tubo de Calor (Heat Pipe) (p. 4).

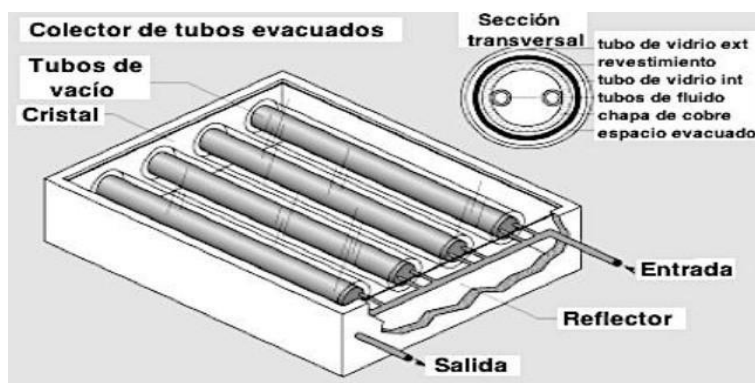
#### **3.9.3.4 De flujo directo**

Consta de un conjunto de conductos de vidrio, en donde cada uno posee una aleta absorbente de aluminio y está conectado a una tubería de metal (generalmente cobre) o tubo de vidrio. Las aletas tienen revestimiento selectivo para absorber la radiación proveniente del sol y suprime las pérdidas calóricas

radiactivas. El líquido caloportador es el agua y se distribuye por conductos, uno para el afluente y otro para el efluente del líquido, como se observa en la figura 14 (p. 4).

**Figura 14**

*Colector de tubos de vacío de flujo directo*



Nota: Captador de energía solar para el calentamiento de agua de tubos de vacío de flujo directo. Tomado de *Colectores solares para agua Caliente*, por Placco et al., 2017.

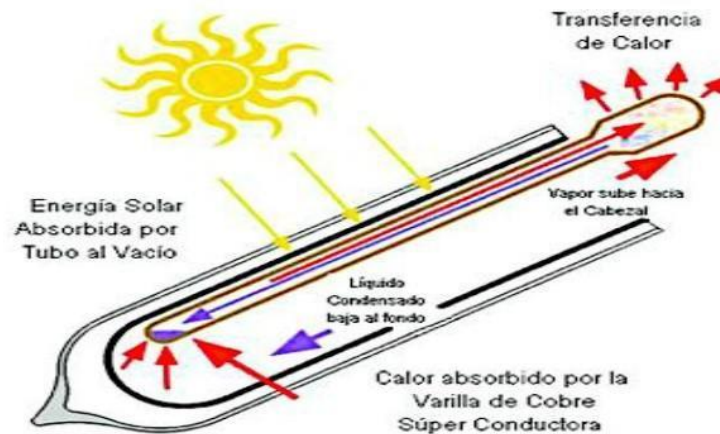
### 3.9.3.5 Con Tubo de Calor (Heat Pipe)

Se aprecia que el fluido vaporizado transportado por el tubo de vacío no escapa de la parte interna del tubo y actúa como portador de calor. El fluido se evapora debido a la radiación solar y asciende al extremo superior del tubo a una temperatura más baja, esto hace que el vapor se condense, cediendo su energía y volviendo a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad sobre la parte inferior del tubo, cuando el tubo recibe más radiación, se evapora de nuevo y comienza un nuevo ciclo como se aprecia en la figura 15. Los tubos de vacío se consideran "supercondensadores" de calor debido a su capacidad calorífica extremadamente baja y su excelente conductividad eléctrica (miles de veces más alta que los mejores conductores sólidos de igual dimensión). Estos tubos de

calor se utilizan con frecuencia en la industria, y por este principio de funcionalidad se elaboran colectores de vacío o tubos de calor de corriente (p. 5).

**Figura 15**

*Tubo de calor en funcionamiento*



Nota: Captador de energía solar para el calentamiento de agua con tubo de calor Heat pipe.  
Tomado de *Colectores solares para agua Caliente*, por Placco et al., 2017.

#### **3.9.4 Calentamiento solar de agua**

Como menciona De la Torre (2018), a pesar de la popularidad de la madera como fuente de energía para cocinar y calentar, su uso puede tener efectos nocivos para la salud cuando se utilizan estufas rudimentarias como medio de combustión; tales dispositivos permiten que el humo contamine el aire de la casa con cenizas. Como alternativa saludable a las estufas rudimentarias, se han desarrollado y promovido estufas mejoradas que bloquean la fuga de humo dentro de la casa desde principios de la década de 1980.

Por esta situación se buscan nuevas formas para el calentamiento de agua, otra fuente de energía potencialmente barata que se puede utilizar en las zonas rurales es la energía solar para calentar agua.

Existe un calentador de agua solar tipo tubería de bajo costo que tiene una capacidad de 100 [L] para el uso de almacenamiento en zonas urbanas y rurales. Para minimizar el costo, el absolvedor y el tanque de almacenamiento se han integrado juntos, es decir se construye el tanque de almacenamiento conectado al colector, la unidad funciona según el principio de empuje, es decir, el agua caliente saldrá por la conexión de la tubería en cambio el agua fría que saldrá se recircula (Verma, 2015).

El uso de la radiación solar para calentar el agua se considera una buena alternativa a los calentadores tradicionales (como electricidad, GLP, etc.). Este sistema se considera una opción atractiva, si se tiene en cuenta la baja temperatura requerida (valores entre 40 [°C] y 60 [°C]), y debido a que reemplaza los combustibles fósiles y la electricidad, puede ahorrar mucha energía.

A su vez, el agua caliente sanitaria es una de las zonas más conocidas donde se utiliza energía renovable, especialmente agua caliente solar en zonas residenciales. Con la abundancia de energía solar, este campo es muy prometedor. Sin embargo, se han desarrollado e investigado varias tecnologías nuevas, pero solo unas pocas son factibles, beneficiosas y están disponibles para el uso público. Aunque parece muy prometedor y fructífero, muchos aspectos del campo aún necesitan ser mejorados y optimizados, ya sea a través del tipo de tecnología, almacenamiento de energía, optimización de costo-beneficio o dilema de huella ambiental.

Cabrera y Ríos (2014) indican que la temperatura a la que puede llegar a calentar el agua estos colectores solares es de 100 [°C].

### **3.9.5 Efecto invernadero**

Chacon (2015) indica que debido a que el vidrio deja pasar la radiación al espectro visible, pero no es lúcido a la radiación infrarroja, se acumula una gran cantidad de calor dentro del colector. Este efecto rebotará y será capturado nuevamente, por lo que el calor es absorbido por el fluido de vidrio.

Una mínima parte de la radiación incidente se refleja desde la superficie de apertura del colector, transfiriendo su energía a la botella de PET (Ordoñez, 2010).

La radiación transmitida que pasa a través de la botella se refleja de regreso a la superficie de la abertura y parte de ella se devuelve al intercambiador. El proceso es repetitivo, provocando múltiples reflejos entre la superficie de apertura y la botella de PET, que a su vez está en contacto con el intercambiador de calor, y el agua a calentar circula en el intercambiador de calor.

#### **3.9.5.1 Tuberías dentro del colector**

La energía se transmite a través de la capa de cobertura y se dirige a las balas y tuberías absolutas, aumentando así la temperatura, pero parte de la energía no se absorbe, sino que se emite en forma de radiación térmica y luego se refleja en la capa de cobertura transparente.

### **3.9.6 PET (Polietileno Tereftalato)**

En el grupo de los termoplásticos se encuentra el tereftalato de polietileno (PET), que fue realizado por Whinfield y Dickson en 1941 con el propósito de fabricar fibras. En 1946 se empezó a utilizar en la industria textil, pero en 1952 se empezó a utilizar en el envasado de alimentos. En 1976 se desarrolló un envase más rígido, especialmente para botellas. El PET tiene ciertas características excelentes, por lo que es muy utilizado: alta tenacidad, rigidez, dureza, resistencia a los ácidos, resistencia a los álcalis y resistencia a la intemperie, lo que incluso hace posible la sustitución de otros tipos de plásticos como PVC y PP (Franco, 2017).

#### **3.9.6.1 El PET a nivel mundial**

A nivel mundial por el uso de plásticos se tiene algunos informes donde dos estadísticas saltaron antes del problema del PET. Primero, a escala global, los seres humanos por minuto consumen un millón de plásticos. En segundo lugar, no se reciclan 91% de estos plásticos. Además de eso, se evalúa que en este año 2020 medio billón de botellas de plástico fue vendido alrededor del mundo (Nace, 2017).

Pese a que botellas PET son reciclables, si están terminan en el ambiente tardan alrededor de 400-500 años en su descomposición, hablando de esto se espera a que estas botellas se descompongan de forma natural, pero esta no es la alternativa debido a que no se reduce la producción de plásticos, el reloj de descomposición del plástico se reinicia constantemente por lo cual reciclaje no es la única opción (Gómez, 2016).

### **3.9.6.2 Reciclaje de los envases PET**

Uno de los mayores problemas del país actual es el exceso de residuos que se acumulan, el reciclaje se refiere a la inclusión repetida de productos o materiales que se han utilizado en un nuevo ciclo de procesamiento para obtener materias primas de las que se pueden obtener nuevos productos. Para este proceso, es necesario reducir la fuente de residuos minimizando el peso y el volumen de residuos (Granja, 2010).

Como menciona Muñetón et al. (2017) al finalizar la vida útil de los envases PET, estos pasan por tres procesos para obtener energía: mecánica, química y energética para lograr fuentes de energía. El desarrollo tecnológico de la fabricación de botellas de PET ha alcanzado un nivel de alta calidad y ha ampliado el campo de aplicación del plástico.

Los PET tienen diferentes ventajas, entre las más destacadas son: no se saturan rápidamente, livianas, resistencia a los impactos o de uso, fácil de transportar, no se rompen fácilmente, ahorran recursos naturales, energía y fácil de almacenar. Para poder reutilizar estos materiales usados como materias primas en un nuevo ciclo de producción, es necesario dividir diferentes tipos de plásticos en diferentes partes, para ello existen dos métodos de reciclado de plásticos: el primero es el reciclado mecánico, que convierte los residuos plásticos en partículas que se utilizan para producir otros productos, de manera que se pueden obtener diferentes proporciones de diferentes plásticos o productos compuestos por un solo tipo de plástico, y el reciclaje químico hace que el plástico se someta a un proceso químico para restaurar su valor. Estos procesos permiten descomponer las moléculas de polímero, obteniendo así nuevas materias primas básicas que pueden utilizarse para fabricar nuevos plásticos (Hidalgo, 2018).



### **3.9.6.3 Reciclaje del PET en Ecuador**

Calero y Villaroel (2019) indican que la producción de plástico se utiliza en diferentes ámbitos de la industria y ha crecido en gran proporción en los últimos años. Se han realizado campañas tanto en municipios, empresas, colegios y ciudadanía en general, estas denominadas 3R (Reduce, recicla y reutiliza) con el objetivo de culturizar a los ecuatorianos de reducir y clasificar los residuos y aumentar la calidad de vida para los ciudadanos logrando un Ecuador Verde.

Pese a estas campañas en los últimos años se ha adoptado el reciclaje del PET como una fuente de trabajo, debido a los incentivos económicos que se obtienen al momento de su venta, hay variedad de campañas de reciclaje en algunos centros de atención al público como centros comerciales, en contenedores orientados al reciclaje del PET, en donde todos los esfuerzos no valen, debido a que la población ecuatoriana no tiene una cultura recicladora, esto evidencia al salir a las calles donde se observa botellas PET en las veredas, desechadas en basureros que terminan contaminadas con desechos orgánicos que afectan al medio ambiente (p. 20).

En el Ecuador hay variedad de personas dedicadas a la recolección del PET, ellos adquieren un incentivo económico de USD \$ 0,42 a \$ 0,65 por [kg], dependiendo de la empresa recicladora (p. 21).

### **3.9.6.4 Centros de acopio PET**

En el Ecuador existen algunos centros de acopio encargados de otorgar materia prima, infraestructura operativa y logística pertinente (Hidalgo, 2018). Entre los centros que existen en el país están Graham Reciclaje (Quito); Recicladora Plásticos y Ferrosos Plasfer (Manta); Alfaro Ayala Federico Santiago (Quito); Enkador S.A (Quito); Comerepon (Jipijapa); Fibrnac S.A (Guayaquil); Ecuaplas Vidal y Compañía (Puerto Francisco), entre otras.

### 3.9.6.5 Ciclo de vida del PET

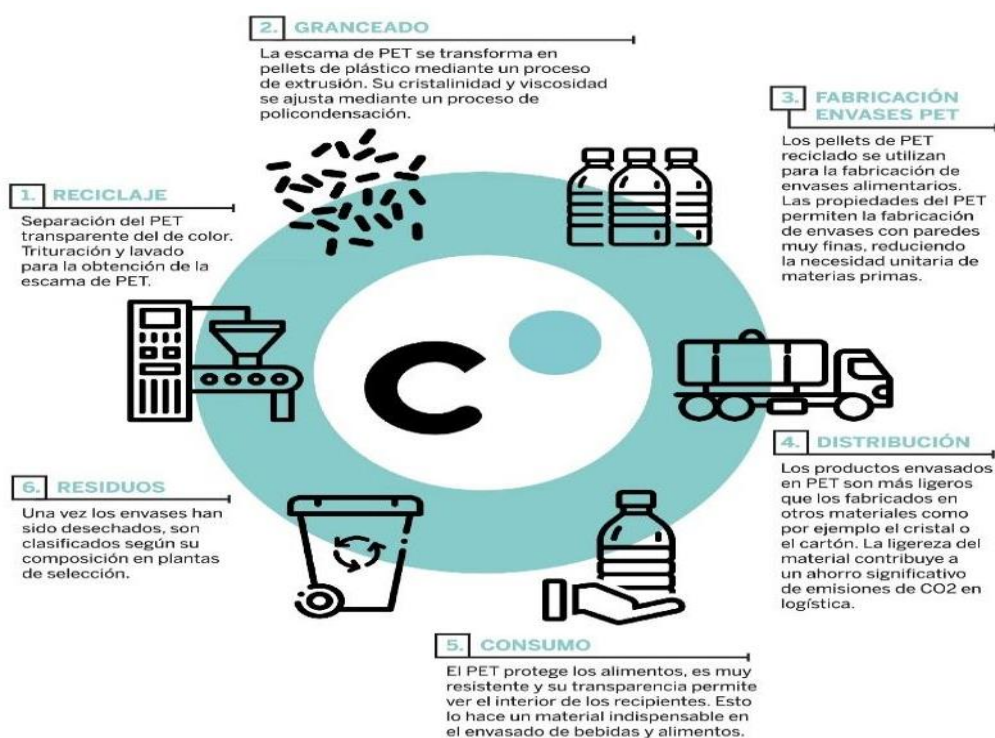
El plástico es barato, ligero, resistente y duradero, y puede moldearse fácilmente en productos para diversos fines (Muñetón et al., 2017).

Con diseños nuevos, se puede prolongar la vida útil del PET y disminuir la generación de PET nuevo.

El Ciclo de vida de las botellas PET inicia con la elaboración de estas mediante resinas provenientes del petróleo o del proceso de reciclaje una vez seleccionados. El proceso de granjeado permite obtener pellets de plástico a partir de las escamas de PET. Posteriormente se procede a la fabricación de envases PET a partir de las escamas, estos PET son distribuidos al fin de llegar al cliente para el consumo de los mismos, al final de este ciclo nuevamente se llega al lugar donde se empezó, la clasificación de estos residuos es realizados según su composición como se evidencia en la figura 16.

**Figura 16**

*Ciclo de vida del PET*



Nota: Proceso del ciclo de vida del PET. Tomado del *Ciclo de vida del PET*, por Circularis, 2020.

### 3.10 Conductividad de materiales

Se puede observar la conductividad térmica de algunos materiales en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Conductividad térmica de algunos materiales*

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m*K)
Plata	406 - 418
Cobre Tipo M	372 - 385
Aluminio	220 - 244
Bronce	116 - 186
Zinc	106 - 140
PET	0,29 - 0,40
PVC	0,12 - 0,25

Nota: Esta tabla muestra la conductividad térmica que poseen algunos materiales que son utilizados para el proyecto tomado de *Diseño y construcción de un sistema de calentamiento de agua activo mediante el uso de politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo y cobre*, por Calero y Villaroel, 2019.

#### 3.10.1 Bolsas de leche

En la actualidad muchos productos se encuentran en botellas, y compuesto de algunas sustancias químicas para la conservación de estas, es decir perjudicando la salud del consumidor (Olmedo, 2014).

Granja (2010) menciona que finalmente, al comparar los materiales pedidos entre el envase UHT y la APP, la devolución de los materiales, el desperdicio y el costo, se encontró una diferencia estadística ( $\text{precio} \leq 0.05$ ), y la pérdida fue mayor al utilizar el envase UHT. Por tanto, se puede concluir que el uso de recipientes de resorte flexible con características definidas en la leche PARMALAT (grosor 95-100 [ $\mu\text{m}$ ], espacio de fotocélula 0,6 [mm]) puede evitar desperdicios por calidad del empaque.

Otras industrias de leche conjuntamente con la del polietileno han concebido una idea de conservar todo en fundas plásticas, aquellas que protegen al producto de factores que alteren su calidad como en este caso la leche (p. 13).

Como menciona Granja (2010) la presencia del polietileno en la industria cuando este ya se ha puesto en contacto con la industria lechera, se hace una parte importante de contaminación de microorganismos y una fuente de transporte de sólidos indeseables en la industria.

#### **3.10.1.1 UHT (Ultra High Temperature)**

Mendoza (2016) menciona que este proceso debe ir acompañado de un complejo sistema de equipos asépticos para los sistemas de calentamiento y envasado. La combinación de las dos etapas puede garantizar la seguridad del producto. El pionero de esta tecnología fue Tetra Pak, que estableció un sistema completo en 1960 que puede asegurar los productos al empaque. La diferencia entre el proceso UHT y el proceso de pasteurización radica en el equipo utilizado, en condiciones de proceso y sistema cerrado, la leche debe procesarse a una temperatura de 135-149 [°C] durante 2 a 8 segundos y usarse para envasado aséptico.

El mayor beneficio que brinda este sistema es extender la vida útil del producto sin afectar el desempeño del producto, la leche envasada con el sistema UHT puede alcanzar una vida útil de 9 meses, pero sin este tipo de envasado esto no se puede lograr. (envase de Tetra Pak), que es una de las razones por las que se diferencia significativamente de la pasteurización, porque el sistema de pasteurización solo se puede utilizar hasta por 15 días (p. 11).

### **3.10.1.2    Empaque**

Este empaque tiene un gran impacto en la inocuidad y calidad del producto, por este motivo el país utiliza dos tipos, fundas láminas de polietileno y envases Tetra Pak, las primeras pueden ser utilizadas en los procesos de pasteurización y el proceso UHT, y los Tetra Pak solo se puede utilizar en los procesos de UHT (Mendoza, 2016, p. 16).

### **3.10.1.3    Funda de polietileno**

Mendoza (2016) menciona que la materia prima para extruir el material es una resina obtenida a partir de derivados del petróleo que están certificados para estar en contacto con alimentos, desde el punto de vista visual, esta lámina es una sola, pero si lo analizamos a través de un microscopio observaremos capas, en este proceso podemos obtener hasta 9 capas que se pueden extruir, pero el país suele utilizar unas 3 capas, que es suficiente para proteger la leche de contaminantes externos, luz y oxígeno.

La ventaja del tipo de empaque es que el costo del material es bajo y sus valores se presentan en la tabla 2, en comparación con otros procesos, el costo de la máquina que utiliza este tipo de empaque no es alto, pero la desventaja es que la seguridad del proceso de llenado es baja debido al termosellado, resistencia a los golpes y ergonomía del consumidor (p. 17).

**Tabla 2***Descripción y valores del material plástico*

<b>DESCRIPCIÓN Y VALORES DEL MATERIAL PLÁSTICO DE BARRERA</b>		
Tipos de Películas	< 10	< 10
Tiempo en Anaquel	120 días	120 días
Calibre (MLS)	3,5	3,2
Unidad/kg	145	159
Desperdicios por filtración	1%	1%
Número de capas	567	567
Gramos por bolsa (aproximado)	6,88	6,29

Nota: Esta tabla indica la descripción y los valores del material plástico de barrera con sus respectivos valores tomado de *Leche UHT en Bolsa: Perfil de un empaque confiable para leche y derivados líquidos en bolsa*, por Torres E., 2010.

### **3.10.2 Latas**

Como menciona Torres H. (2017), las latas de aluminio también pueden ser utilizadas como recubrimiento para la elaboración de un colector solar debido a que es un material que asegura una buena absorción de la radiación solar incidente debido a su alta conductividad térmica, de esta manera se podrá calentar agua para algunas viviendas que carecen de este servicio.

La estrategia común para los metales recubiertos opacos y no metálicos es asumir que la emisividad no depende de la longitud de onda e igual a 0,9, que es la más común. No obstante, se necesitan más medidas para confirmar que esta regla general es correcta en algunos de los casos. Las superficies de metal desnudo y los recubrimientos de pigmentos de aluminio tienden a tener una emisividad más baja y varían con la longitud de onda (Naz, 2016).

### **3.10.2.1 Ventajas y desventajas**

Según (Naz, 2016) menciona algunas ventajas y desventajas del uso de latas para los colectores solares.

#### **Ventajas**

- Fácil acceso a materiales
- Homogeneidad del tamaño de lata
- Un poco pesado

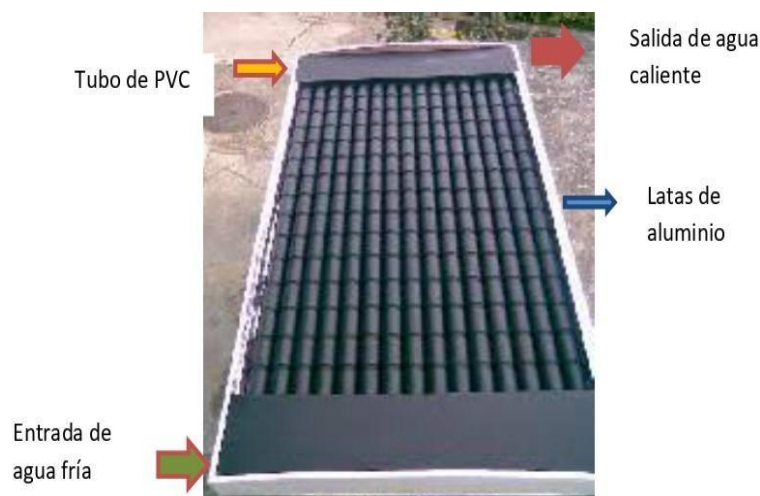
#### **Desventajas**

- Es posible que haya fugas de agua en las juntas de las tuberías
- Realizar agujeros en la lata.

Como se puede observar un diseño de colector solar con latas en la figura 17 que presenta estas características.

**Figura 17**

*Colector solar a base de latas*



Nota: Esta imagen representa la construcción de un colector solar con la utilización de latas de aluminio para calentar agua tomado de *Construcción y evaluación experimental de un colector solar con absorbedor de latas de aluminio para calentar agua de uso doméstico en Tacna*, por Torres H., 2017.

Cabe mencionar que la información de las latas hace referencia al aluminio que se ubicará en el interior de cada botella PET.

### **3.11 Problemática de los desechos en Ecuador**

García (2015) indica que una de las problemáticas ambientales con mayor relevancia a nivel mundial es la generación de desechos. Según estudios del Banco Mundial las cifras de incremento de desperdicios son alarmantes; hace 20 años en América Latina la generación diaria de desechos no supera las 268.750 toneladas, en la actualidad esta es de 430.000 toneladas, lo que equivale a un aumento del 60%. La tasa de producción de residuos Per cápita está en un constante crecimiento. Esta particularidad representa consecuencias más severas en América Latina, ya que ningún país latinoamericano tiene un reciclaje de residuos mayor al 15% de su generación de desechos total.



Según el INEC (2018) con su investigación indica que Ecuador no escapa de esta problemática de la generación de desechos, a través de la Encuesta de Seguimiento al Plan Nacional de Desarrollo (EPSPND), se determinó una producción diaria de desechos con un valor de 0,81 [kg], siendo el 50% de los residuos generados por parte de Estados Unidos (828 [kg/per cápita/año]). Pero en comparación con la región Andina, Ecuador se encuentra antes de Chile, Brasil, Perú y Colombia.

Los desechos más comunes en la actualidad son: escombros, metal, vidrio, desechos hospitalarios, electrónicos y plásticos. Este último es una parte representativa de los residuos domésticos, y su principal problema radica en su no biodegradabilidad y eliminación inadecuada (Franco, 2017).

### ***3.11.1 Impacto ambiental***

Como menciona Gómez (2016) el uso de botellas PET y sus impactos, se centra en tres actores específicos del medio ambiente, suelo, aire y agua.

Casi más del 50% de los alimentos están recubiertos por empaques de plástico; las bebidas son las más adquiridas por el público en su mayoría joven, por su fácil manejo y ligero peso. Pero el problema es ¿qué pasa con todo esto cuando se consume en exceso? (p. 18).

Hoy en día, el plástico y las botellas PET son grandes contaminantes que se aglomeran en el planeta, cuando se desechan, permanecen en el ambiente cerca de 100 años o dependiendo del ambiente pueden durar mucho más, toda esta producción de botellas que se produce a diario son arrojados a los botaderos

de basura, pero el ciclo de su descomposición no alcanza a empezar cuando ya está llegando más; por esto los botaderos de basura se llenan y después los consumidores los botan en la calle, es así como estos residuos pueden terminar tapando alcantarillas, canales de agua lluvia, algunos llegan a los ríos y océanos (p. 19).

Estos residuos al descomponerse pueden acabar con animales que confunden los residuos de este plástico con alimento, como las tortugas marinas, peces, albatros, entre otros, como se observa en la figura 18.

**Figura 18**

*Especies marinas afectadas por el plástico*



Nota: Se aprecia la muerte de las criaturas marinas y aves por el consumo de los plásticos que llegan a parar a sus hábitats tomado de *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza*, por Libera, 2018.

Libera (2018) menciona otro problema a la hora de intentar eliminar estos residuos es el uso de la incineración, este método produce humo, que libera una gran cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como se observa en la figura 19, antimonio y metales pesados, lo que afecta gravemente al medio ambiente. Por otro lado, en los rellenos sanitarios, una gran cantidad de acumulación, debido a esta situación, un gran aumento de los lixiviados, el lixiviado llega al nivel freático, contaminando las aguas

subterráneas. Sin embargo, la mayoría de estos plásticos se tiran a la calle como caldo de cultivo de zancudos, ratas y cucarachas, creando un paisaje desagradable. Por ejemplo, cuando estos desechos terminan en las playas, hace que se pierda el atractivo turístico del lugar, lo que puede tener un impacto económico.

**Figura 19**

*Incineración de los plásticos*



Nota: La quema de estos plásticos provoca humos que son nocivos y no es muy recomendado la incineración tomado de *Día mundial contra la incineración: La quema de plástico puede llegar a ser letal para el humano*, por Revista Pudú, 2020.

Como menciona Gómez (2016) los plásticos y botellas PET están presentes en las diferentes sociedades del mundo por los usos que prestan, así mismo estos polímeros llevan décadas brindando descubrimientos para el beneficio de la economía mundial, por este motivo la gente sigue consumiendo más y el mismo está causando los impactos al medio ambiente y hasta el momento no se ha encontrado un sistema de manejo eficiente para después de su uso.

Al ver esta problemática y el impacto ambiental que está provocando el uso de estos productos, debido a que su vida útil termina muy pronto, a su vez estos desechos van a

las calles, botaderos y rellenos sanitarios, por este motivo deseamos aprovechar para las botellas PET y bolsas de leche para la elaboración de nuestro prototipo de colector solar para el calentamiento de agua.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Materiales

A continuación, se presentan los materiales e instrumentos utilizados en la construcción y pruebas de nuestro prototipo de colector solar.

**Tabla 3**

*Materiales para construcción*

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Botellas PET	Botellas	32
Bolsas de leche	Bolsas	30
Pallet de madera	Pallet	1
Tubos PVC ½"	Tubos	3
Uniones T PVC ½"	Paquetes	2
Neplos PVC ½"	Paquetes	2
Universal		1
Silicona neutra	Tubo	1
Teflón	Paquetes	5
Codos PVC ½"	Paquetes	1
Manguera plástica negra ¾"	Rollo	1
Tanque colector de 20 litros	Tanque	1
Abrazaderas metálicas ½"	Paquetes	1
Papel aluminio	Rollo	1
Tarro de pintura	Tarro	1
Llave de agua		1
Permatex	Barra	1
Clavos	Libra	1

Nota: Presentación de los materiales con sus unidades y cantidades utilizados para la construcción

**Tabla 4**

*Instrumentos de laboratorio*

INSTRUMENTOS	CANTIDAD
Termómetro termocupla	1
Termómetro de cocina	1
Termómetro de mercurio	1

Nota: Presentación de instrumentos que se utilizaron para tomar datos.

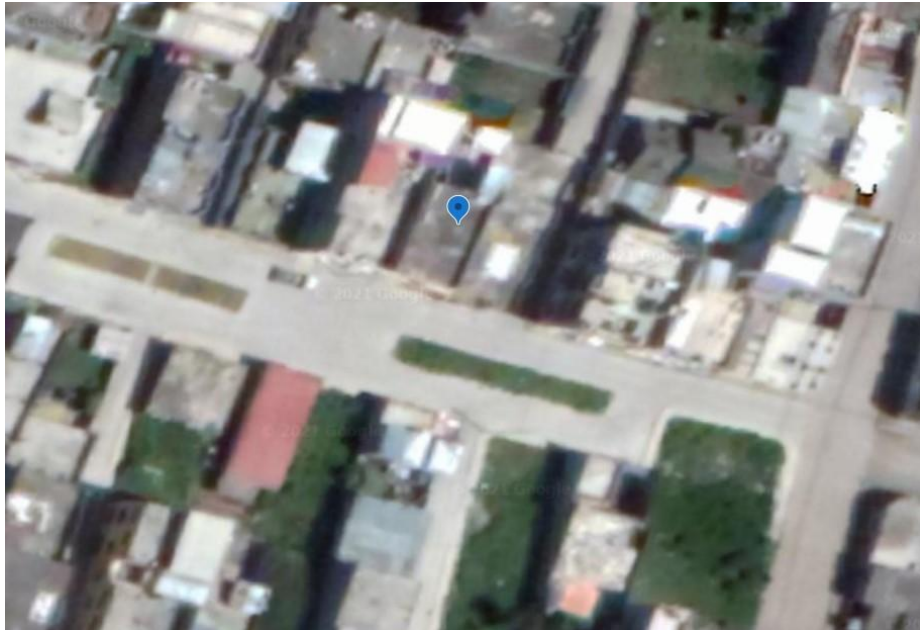
## **4.2 Metodología**

### **4.2.1 Población y muestra**

Se realizó un trabajo de campo para una vivienda del área urbana en el Sector Chillogallo en el Barrio Martha Bucaram como se muestra en la figura 20, específicamente en las coordenadas (-0,306171, -78,570854), que nos permita comprender las necesidades de la vivienda donde se aplicará este sistema, observando e identificando las características del problema.

**Figura 20**

*Área de ubicación del colector solar*



Para la muestra se procedió a la construcción de un prototipo de colector solar con materiales reciclables para calentar agua con la utilización de la energía solar y se visualiza la potencia solar en sitios web (Weather Spark, 2020) y con termómetro termocupla para la toma de temperatura del agua almacenada en el tanque.

Es factible llevar a cabo este proyecto de investigación, que se realiza con materiales fáciles de encontrar y reciclables, lo que ayuda a reducir la contaminación ambiental y proporcionar agua caliente.

#### **4.2.2 Métodos**

El método que adoptaremos en nuestro trabajo es el método empírico, en el que tenemos:

**Observación Científica:** Se realizó un trabajo de campo que nos permitió comprender las necesidades de la vivienda donde se aplicará este sistema, observando la ubicación e identificando las características del problema.

**Recolección de Datos:** Este método es muy importante porque nos permite obtener datos útiles, que nos ayudarán a confirmar el problema.

**Experimentación:** En esta etapa se procede a la construcción de un prototipo de colector solar con materiales reciclables para calentar agua con la utilización de la energía solar y se realizan mediciones sobre la temperatura del agua obtenida en el tanque del prototipo.

En los métodos teóricos tenemos:

**Método Científico:** Para esta investigación es necesario buscar información que podamos obtener de la consulta bibliográfica, Internet, guías, proyectos de investigación, prácticas experimentales, etc. Sobre colectores solares.

**Método Inductivo – Deductivo:** Este método nos ayuda a comprender el problema, investigar y analizar las causas y resultados, y determinar posibles soluciones.

**Método Estadístico:** Utilizando este método y obteniendo datos, se pueden aplicar, análisis e interpretación de resultados y su representación gráfica.

#### ***4.2.3 Variables a evaluar en la investigación***

Las variables utilizadas son una variable independiente y una variable dependiente, donde el sistema alternativo de calentamiento de agua mediante energía solar es



dependiente, mientras que el prototipo del colector solar con materiales reciclables es independiente.

#### **4.2.4 *Análisis estadístico***

Este análisis se basa en la recolección de datos, aplicando fórmulas para obtener resultados y su posterior interpretación y representación gráfica.

Una vez listo el prototipo se procedió a compararlo con 2 tipos de energías convencionales como: GLP y ducha eléctrica, para identificar cuál de las energías es económica y menos contaminante al momento de calentar el agua.

Una vez realizado este análisis estadístico se procedió con el estudio de factibilidad económico, social y ambiental.

### **4.3 Diseño**

Por medio del análisis y el planteamiento de ecuaciones que se presentan en la mecánica de fluidos como son la 5 y 6 controla el sistema de calentamiento de agua activo, con el uso de botellas PET con tubería PVC y mangueras de riego, se podrá obtener una idea clara y concisa del funcionamiento, para la construcción del sistema colector se utilizan las ecuaciones 7, 8, 9, 10. Para el control de algunos parámetros se utilizan las ecuaciones 11 y 12. Las condiciones de trabajo de este estudio están controladas por la recirculación del agua que no se consume en el tanque de agua. También se propone una ecuación para controlar el funcionamiento de los calentadores solares de agua para resolver el problema con diferentes medios como convección, conducción y radiación solar térmica. Se relaciona la tasa de transferencia de calor, lo que permitirá obtener los parámetros requeridos por el diseño.

Como menciona Calero y Villaroel (2019) las ecuaciones de mecánica de fluidos y área del colector, calor útil, número de tubos y flujo de calor ganado por el agua se pueden utilizar para el dimensionamiento del colector.

#### **4.3.1 Mecánica de fluidos**

##### ***Densidad***

La densidad es una de las características más típicas de cada sustancia y se define como la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

##### **Dónde:**

$\rho$ : es la densidad de la sustancia  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

$m$ : es la masa de una sustancia  $[kg]$ .

$V$ : es el volumen de una sustancia  $[m^3]$ .

##### ***Velocidad de flujo de volumen***

Es la relación del caudal o caudal másico multiplicado por la densidad en el sistema por unidad de tiempo, que se puede expresar de la siguiente manera:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (6)$$

##### **Dónde:**

$\dot{V}$ : Velocidad de flujo de volumen [ $\frac{m^3}{s}$ ].

### ***Área de un colector***

En el caso de los calentadores solares, el área de captura de energía será el área de superficie donde ocurre la transferencia de calor.

$$A = \frac{m * Cp * (Tf - Ti)}{Gs * yasumida * t} \quad (7)$$

#### **Dónde:**

$m$ : Cantidad de agua a calentar [kg].

$Cp$ : Calor específico del agua [ $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ ].

$Tf$ : Temperatura del agua caliente [ $^\circ C$ ].

$Ti$ : Temperatura del agua fría [ $^\circ C$ ].

$t$ : Tiempo necesario para calentamiento del agua en el tubo [s]

### ***Número de tubos***

$$N_{tubos} = \frac{A_{ef}}{Di * Lta} \quad (8)$$

#### **Dónde:**

$A_{ef}$ : Área efectiva del colector [ $m^2$ ].

$Di$ : Diámetro de la placa absorbadora [m].

$Lta$ : Longitud del tubo para almacenar el agua [m].

### ***Calor útil***

$$Q_{util} = \frac{m * C_p * (T_f - T_i)}{t} \quad (9)$$

#### **Dónde:**

$m$ : Cantidad de agua a calentar [kg].

$C_p$ : Calor específico del agua [ $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ ].

$T_f$ : Temperatura del agua caliente [ $^\circ C$ ].

$T_i$ : Temperatura del agua fría [ $^\circ C$ ].

$t$ : Tiempo necesario para calentamiento del agua [s]

### ***Volumen de cilindro***

$$V = \frac{D^2}{4} * L \quad (10)$$

#### **Dónde:**

$D$ : Diámetro interno del cilindro [m].

$L$ : Longitud del cilindro [m].

### ***Flujo de calor ganado por el agua***

La siguiente fórmula establece la relación entre el flujo de calor y el agua.

$$\dot{Q}_{agua} = \dot{m} * C_p * (T_{fo} - T_{fi}) \quad (11)$$

#### **Dónde:**

$\dot{Q}_{agua}$ : Flujo de calor al agua [W]

$\dot{m}$ : Flujo de la masa de agua en el calentador [ $\frac{kg}{s}$ ]

$C_p$ : Calor específico del agua [ $\frac{4,18 kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ ]

$T_{fo}$ : Temperatura del agua a la salida del calentador [ $^\circ C$ ]

$T_{fi}$ : Temperatura del agua a la entrada del calentador [ $^\circ C$ ]

Para determinar el principio de conservación de la masa, se utiliza la siguiente ecuación para completar: La función de esta ecuación es mostrar el flujo másico por unidad de tiempo en el dispositivo.

$$\dot{m} = \rho * V_{prom} * A_c \quad (12)$$

**Dónde:**

$\dot{m}$ : Flujo másico [ $\frac{kg}{s}$ ].

$\rho$ : Densidad del fluido [ $\frac{kg}{m^3}$ ].

$V_{prom}$ : Velocidad promedio [ $\frac{m}{s}$ ].

$A_c$ : Área de la sección transversal [ $m^2$ ].

Estas fórmulas son referencia se las puede resolver por diferencias finitas aplicando leyes de maxwell y también modelos computacionales que no se consideraron en el presente proyecto y los modelos antes definidos se los deja únicamente como planteamiento para futuras investigaciones.

#### **4.4 Diseños de los prototipos (AutoCAD)**

##### ***4.4.1 Diseño de prototipo 1 (botellas y aluminio)***

Teniendo en cuenta el desarrollo del marco teórico sobre los principios operativos y tecnologías actuales que se han descubierto, que se han probado con éxito en diferentes latitudes de la tierra, decidimos diseñar un prototipo que nos permitiera construir un modelo con características similares a los colectores solares comerciales de la zona, las dimensiones consideradas del prototipo son las siguientes:

Largo: 1,10 [m]

Ancho: 0,8 [m]

Espesor: 10 [cm]

Se utilizó manguera negra de media pulgada de diámetro para riego técnico para guiar el fluido (agua) a calentar a través del sistema, esta tubería se colocó de manera que pase por el interior de la botella de plástico con la capa de aluminio. De esta manera, el colector consta de 8 filas de conexiones con manguera, y las botellas plásticas están recubiertas con una pequeña capa de aluminio, como se muestra en la figura 21.

Además, en cada una de las columnas de manguera, se colocaron cuatro botellas plásticas cortadas en la parte inferior y se apiló una tras otra para hacer un total de treinta y dos botellas plásticas.

En el tanque de almacenamiento de agua se realizaron cuatro aberturas, en la parte trasera del tanque, la abertura superior se conectó a la red pública para el ingreso del agua fría al tanque, la abertura inferior se interconecte al colector solar para el ingreso

del agua fría y previa circulación, en las dos aberturas que tienen la cara hacia al colector en la parte inferior se conectó una llave de agua para la salida de agua caliente, en la parte superior se interconecte con una tubería PVC por la que ingresa el agua caliente al tanque.

El área que tiene nuestro colector es de  $0,88 \text{ [m}^2\text{]}$ , el cual se lo ubico en la terraza de esta vivienda.

En la figura 21 se muestra, la parte inferior del colector está el ingreso del agua fría y en arriba del colector está la salida de agua caliente.

**Figura 21**

*Prototipo 1 con botellas plásticas y aluminio*



#### **4.4.1.1 Función de las botellas plásticas**

La botella PET es considerada como un material cobertor, ya que es transparente a la luz y opaco al calor, la propiedad que realiza es el denominado efecto invernadero ya que la energía solar queda atrapada en cada botella, dentro de las cuales se encuentran

las mangueras, por el fenómeno de convección y conducción dicha energía es absorbida por la manguera, por el mismo fenómeno, le transfiere la energía al agua, su función es vital para el funcionamiento del colector solar (Giannetti, 2020).

#### **4.4.1.2 Función del aluminio en el interior de las botellas plásticas**

Sánchez (2010) menciona que la placa de absorción es un revestimiento de aluminio, que tiene una excelente absorción solar y características de mínima reflexión. La radiación solar es captada por la placa de absorción del tubo interior y convertida en calor útil.

La botella tiene un revestimiento de aluminio selectivo que puede absorber la radiación solar e inhibir la pérdida de calor radiante. El fluido caloportador es agua, que se distribuye por conductos, el primero para el ingreso del líquido y el segundo para la salida del líquido (p. 43).

La temperatura agradable del agua caliente para el baño de una persona fluctúa entre 28 [°C] y 36 [°C] (Camargo, 2013, p. 36).

#### **4.4.2 Diseño de prototipo 2 (fondo negro)**

Para la implementación del prototipo 2, como se observa en la figura 22 se procede con la construcción de una caja de madera utilizando un pallet de madera.

De acuerdo con la ley de Kirchhoff, se entiende que un objeto negro es un objeto que absorbe toda la energía incidente en todo el espectro de longitud de onda. En donde la radiación casi no tiene posibilidades de escapar (Domingo, 2011).



El uso del fondo negro debajo del colector como fue la parte interna de las bolsas de leche nos sirvió como absorbedor en gran cantidad de la radiación directa y difusa, ya que el color negro absorbe la energía solar y la transforma en calor (Mendoza y Ritual , 2015).

La radiación de un cuerpo negro es igual a la intensidad de la radiación de equilibrio existente en la parte interna de la cavidad a la misma temperatura (Domingo, 2011).

En el equilibrio el cuerpo negro emite todo lo que absorbe. Esto representa el fondo negro de nuestro colector y las tuberías pintadas de color negro, provocando que el aire circundante alrededor de las botellas se incremente de mayor manera la temperatura, como ese calor no escapa hace que el sistema mejore el calentamiento.

**Figura 22**

*Prototipo 2 con fondo negro de fundas de leche*



#### **4.4.3 Diseño de prototipo 3 (cubierta plástica)**

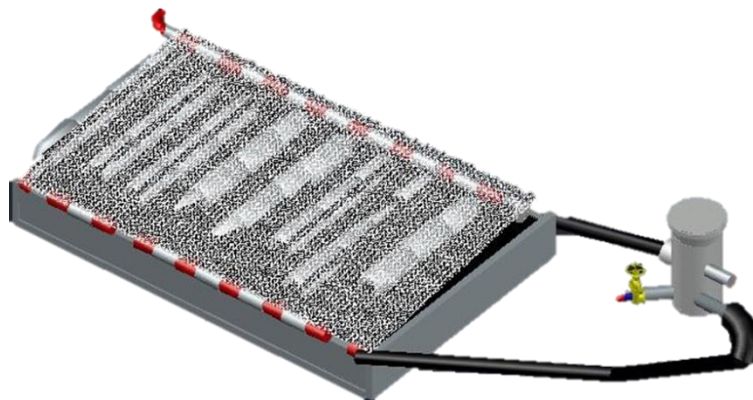
Para el diseño de este prototipo se piensa utilizar el principio del muro Trombe, pero en el caso de utilizar una superficie de vidrio se implementa una superficie de plástico similar a la que se utiliza para los invernaderos como se indica en la figura 23.

Como menciona (Torres Santos y Bucheli Naranjo, 2017) el efecto invernadero se crea en el muro Trombe, lo que permite calentar al mismo tiempo el aire entre el vidrio y la masa térmica. El aire se calienta y circula debido a la convección natural y además que el aire es más ligero, las partículas de aire más frías se mueven hacia el fondo. La pared emite energía radiante no visible, pero el vidrio no permite que esta energía se escape porque no puede transmitir esta radiación.

La radiación atraviesa el vidrio logra calentar el aire del interior y la diferencia de temperatura crea un ciclo térmico. El efecto de calentamiento producido por las propiedades no grises del vidrio, se denomina efecto invernadero (p. 28).

**Figura 23**

*Prototipo 3 con una cubierta plástica en la parte superior*



Como se menciona en la tabla 4 se utilizó instrumentos de laboratorio que nos facilitó la Universidad Politécnica Salesiana, un termómetro termocupla (figura 24) marca Control Company, modelo 4004 y sus componentes: equipo, sensor y estuche.

El horario establecido para la medición de la toma de temperatura en el tanque de agua del prototipo fue de 9:00 am a 1:00 pm. Para tomar la temperatura se recogieron los datos cada 10 minutos y se registran para el posterior procesamiento y análisis estadístico de estos valores. Este procedimiento se lo realiza por 3 días previniendo y teniendo en cuenta con esto condiciones similares que eliminen errores en la medición.

**Figura 24**

*Termocupla de laboratorio*



## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este presente apartado, se detalla las diferentes pruebas realizadas y se proponen los resultados obtenidos.

### **5.1 Análisis de resultados**

El prototipo se encuentra ubicado en la ciudad de Quito en el Sector Chillogallo en el Barrio Martha Bucaram. Para autenticar el funcionamiento de los equipos se trabajó con la recirculación de un tanque de 20 [L] de agua conectado al colector y se registra el valor de la temperatura del agua en el tanque mientras se expone al colector a la radiación solar.

### **5.2 Prototipo colector solar**

#### ***5.2.1 Análisis de la radiación solar en la ciudad de Quito***

##### **5.2.1.1 Sensores de la página Weather Spark**

La cantidad de radiación solar en los días 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 de diciembre de 2020 que fueron captados por los sensores de la página Weather Spark nos arroja datos estables (Anexo 1).

Entre el 11 y 16 de diciembre se realizaron las pruebas para el prototipo 1 y 2, se evidencio que la radiación solar máxima a las 11:30 am, nos arrojó un valor de 0,73 [kW]. El mismo se mantuvo estable durante estos días, se considera que la radiación es similar para cada prueba.

Para los días desde el 17 al 19 de diciembre se realizaron las pruebas para el prototipo 3 y se evidenció que existió una variación de la radiación solar máxima a las 11:30 am de

0,01 registrando el valor de 0,74 [kW]. El valor se mantuvo estable durante estos días, se considera que la radiación es similar para cada prueba del prototipo 3.

#### 5.2.1.2 Datos de secretaría de ambiente estación Guamaní

$$Diámetro_{botella} = 10 [cm]$$

$$Número_{canales\ colector} = 8$$

$$Longitud_{tubería} = 1 [m]$$

$$Área_{colector} = Diámetro_{botella} * Número_{canales\ colector} * Longitud_{tubería} \quad (13)$$

$$Área_{colector} = 80 [cm] = 0,8 [m^2]$$

$$Radiación\ solar\ área\ colector = Promedio_{radiación\ solar} * Área_{colector} \quad (14)$$

$$Radiación\ solar\ del\ área\ colector = 703,86 \left[ \frac{W}{m^2} \right] * 0,8 [m^2]$$

$$Radiación\ solar\ del\ área\ colector = 563,09 [W]$$

$$Energía = Promedio_{potencia} * tiempo_{calentamiento\ de\ agua} \quad (15)$$

$$Energía = 458,48[W] * 4 [h]$$

$$Energía = 1833,91 [Wh]$$

Esta es la energía que está aportando el sol al colector, estos datos se obtuvieron de la página de la Secretaría de Ambiente de la estación más cercana al proyecto, fue la estación de Guamaní, para realizar los cálculos con las ecuaciones 13, 14 y 15 y presentar en tablas (Anexo 2).

### **5.2.2 Prototipo 1**

Para la elaboración de este prototipo se utilizó dos tuberías PVC, mangueras negras ubicadas en el interior de cada botella, las botellas PET utilizadas fueron de 2 y 1,5 [L] respectivamente, el colector solar posee un tanque en el que se almacena agua fría proveniente de la red pública, este fluido circula de manera automática a través del colector aprovechando el efecto invernadero que se crea en la parte interna de las botellas PET, se produce el calentamiento del agua por medio del efecto termosifón en donde ingresa por la parte inferior el agua fría y al momento de calentarse por efecto de gravedad el agua caliente sube e ingresa en la parte superior del tanque.

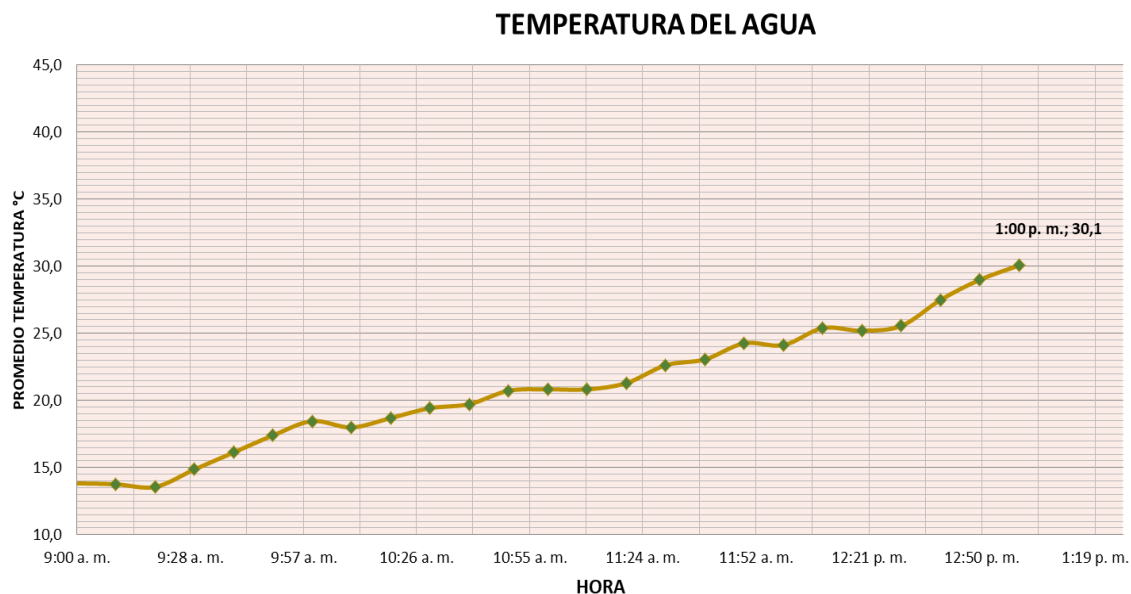
Con el prototipo ya terminado se procedió a su instalación, se verificó el lugar con las mejores condiciones de radiación solar directa, siendo el ángulo de inclinación de 30° en dirección Sur-Oeste, con el fin que el colector aproveche de mejor manera los rayos solares.

Posteriormente se procedió a realizar las pruebas de medición de temperatura en un horario de 9:00 am a 1:00 pm, con una frecuencia de 10 minutos en los días 11, 12 y 13 de diciembre de 2020. Con los resultados de temperatura obtenidos (Anexo 4), se realizó el promedio de cada dato que se tomó en el transcurso de esos días.

### 5.2.2.1 Prueba 1

**Figura 25**

*Aumento de temperatura del agua en el tanque del colector prueba con botellas PET y aluminio*



En esta prueba la figura 25 evidencia el incremento de temperatura del agua respecto al tiempo. Como promedio de los días realizados para la primera prueba del prototipo 1, se tiene una temperatura inicial de 13,8 [°C] a las 9:00 am y a la 1:00 pm se alcanzó un valor de temperatura final de 30,1 [°C] siendo este el valor más alto al que llegó la temperatura del agua que se almacena en el tanque del colector.

#### **Cálculo de calor absorbido por el colector**

##### **Datos iniciales**

$$Temperatura_{inicial} = 14,9 [^{\circ}C]$$

$$Temperatura_{final} = 31,4 [^{\circ}C]$$

$$Volumen = 20 [L]$$

$$Densidad_{agua} = 1[\frac{kg}{L}]$$

$$Masa = 20,000 [g]$$

$$Ce_{agua} = 4,186 [\frac{J}{g^{\circ}C}]$$

$$Q = m Ce (Tf - To) \quad (16)$$

$$Q = 20,000 [g] * 4,186[\frac{J}{g^{\circ}C}] * (31,4 - 14,9) [^{\circ}C]$$

$$Q = \frac{1381380 J}{14400 s}$$

$$Q = 95,93 [Wh]$$

Este proceso de cálculo se realizó con la ecuación 16 para los días que se tomó las temperaturas de cada uno de los prototipos, obteniendo el calor absorbido como se evidencia en la tabla 5

**Tabla 5**

*Calor absorbido por el prototipo 1*

<b>CALOR ABSORBIDO</b>				
J	1381380	1264172	1431612	1359054,67
Wh	95,93	87,79	99,42	94,38



El cálculo que se realizó para conocer el calor absorbido demuestra que el día que absorbió mayor radiación es el 13 de diciembre de 2020 con un valor de 99,42 [Wh], dando un promedio de 94,38 [Wh] de radiación absorbida por el prototipo 1.

### **5.2.3 Prototipo 2**

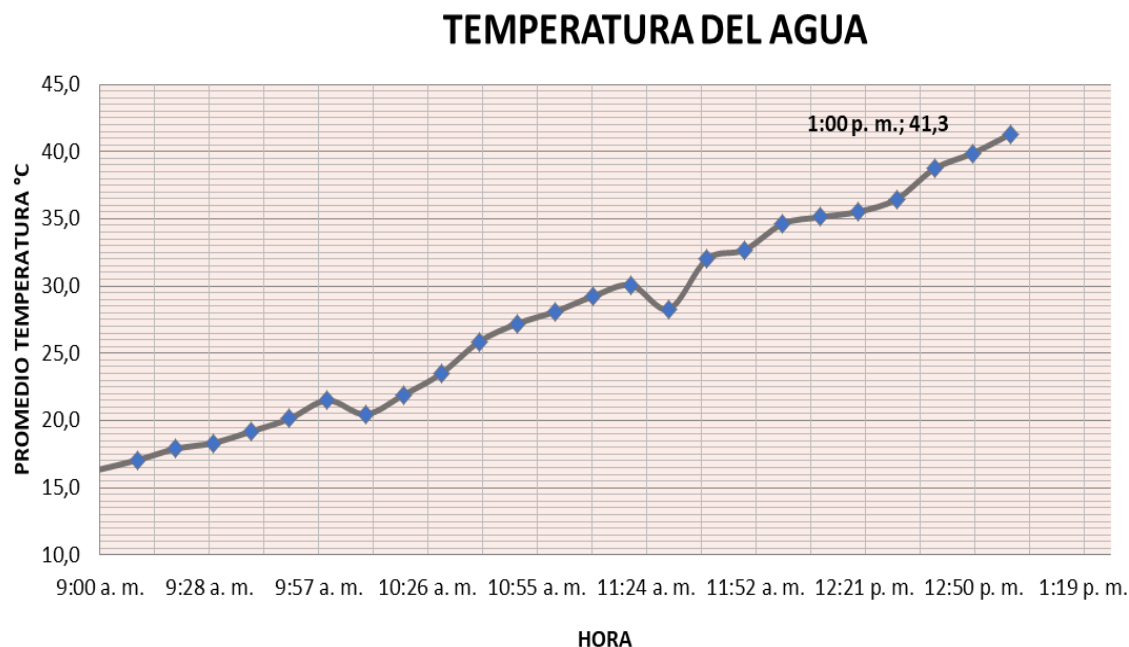
Para la elaboración del segundo prototipo se utilizó un pallet de madera, se procedió a desarmarlo y rearmarlo como una caja, después se recolecto las fundas de leche y se las junto todas con pegamento para colocarlas en la misma creando un fondo negro para realizar la segunda prueba.

Posteriormente se procedió a realizar las pruebas de medición de temperatura en un horario de 9:00 am a 1:00 pm, con una frecuencia de 10 minutos en los días 14, 15 y 16 de diciembre de 2020. Con los resultados de temperatura obtenidos (Anexo 4), se realizó el promedio de cada dato que se tomó en el transcurso de esos días.

### 5.2.3.1 Prueba 2

**Figura 26**

*Aumento de temperatura del agua en el tanque del colector prueba con fondo negro*



En esta prueba la figura 26 evidencia el incremento de temperatura del agua respecto al tiempo. Como promedio de los días realizados para la primera prueba del prototipo 2, se tiene una temperatura inicial de 16,4 [°C] a las 9:00 am y a la 1:00 pm se alcanzó un valor de temperatura final de 41,3 [°C] siendo este el valor más alto al que llegó la temperatura del agua almacenada en el tanque del colector.

En este punto se presenta el calor absorbido por el prototipo 2 que se evidencia en la tabla 6

**Tabla 6**

*Calor absorbido por el prototipo 2*

CALOR ABSORBIDO				
J	1816724	2017652	2427880	2087418,67
Wh	126,16	140,11	168,6	144,96

Una vez realizado el cálculo para conocer el calor absorbido demuestra que el día que absorbió mayor radiación es el 16 de diciembre de 2020 con un valor de 168,60 [Wh], dando un promedio de 144,96 [Wh] de radiación absorbida por el prototipo 2.

#### **5.2.4 Prototipo 3**

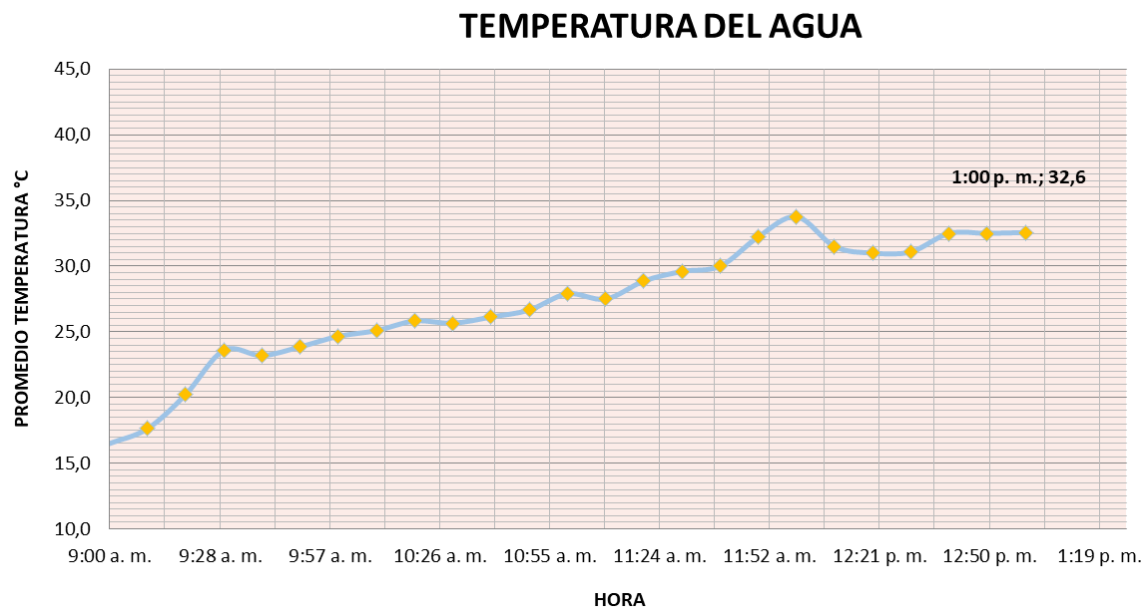
Para la elaboración del tercer prototipo se procedió a cubrir con un plástico similar a los invernaderos la caja que contenía el fondo negro y el colector con botellas PET para crear un doble efecto invernadero y mejorar el proceso.

Posteriormente se procedió a realizar las pruebas de medición de temperatura en un horario de 9:00 am a 1:00 pm, con una frecuencia de 10 minutos en los días 17, 18 y 19 de diciembre de 2020. Con los resultados de temperatura obtenidos (Anexo 4), se realizó el promedio de cada dato que se tomó en el transcurso de esos días.

### 5.2.4.1 Prueba 3

**Figura 27**

*Aumento de temperatura del agua en el tanque del colector prueba con cubierta plástica*



En esta prueba la figura 27 evidencia el incremento de temperatura del agua respecto al tiempo. Como promedio de los días realizados para la primera prueba del prototipo 3, se tiene una temperatura inicial de 16,5 [°C] a las 9:00 am y a la 1:00 pm se alcanzó un valor de temperatura final de 32,6 [°C] siendo este el valor más alto al que llegó la temperatura del agua almacenada en el tanque del colector.

Por último, se evidencia el calor absorbido por el prototipo 3 que se presenta en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Calor absorbido por el prototipo 3*

	CALOR ABSORBIDO			
J	267904	1791608	1975792	1345101,33
Wh	18,6	124,42	137,21	93,41

Así mismo para conocer el calor absorbido se muestra que el día que absorbió mayor radiación es el 19 de diciembre de 2020 con un valor de 137,21 [Wh], dando un promedio de 93,41 [Wh] de radiación absorbida por el prototipo 3.

### 5.3 Cálculo de Error Relativo

Se realizó el cálculo del Error Relativo, utilizando la ecuación 17.

$$ERROR\ RELATIVO = \frac{(VALOR\ RELATIVO - VALOR\ REAL)}{VALOR\ REAL} * 100 \quad (17)$$

Al reemplazar estos valores podemos presentar la ecuación de la siguiente forma:

$$ERROR\ RELATIVO = \frac{(PROTOTIPO\ 2 - PROTOTIPO\ 1)}{PROTOTIPO\ 1} * 100 \quad (18)$$

Mediante la Ecuación 18 se pudo determinar el Incremento de la Temperatura [°C] del Prototipo 2 respecto al Prototipo 1, se obtuvo un valor de 30%.

Posteriormente aplicamos la Ecuación 19 para poder calcular el Incremento de la Temperatura [°C] del Prototipo 3 respecto al Prototipo 1, se obtuvo un valor del 31%.

$$ERROR\ RELATIVO = \frac{(PROTOTIPO\ 3 - PROTOTIPO\ 1)}{PROTOTIPO\ 1} * 100 \quad (19)$$

Las fórmulas anteriormente mencionadas se van a utilizar para obtener el incremento de temperatura del prototipo 2 y 3 con respecto al prototipo 1 y determinar si existe una mejora en el proceso de calentamiento del agua con respecto al prototipo 1.

Los resultados se muestran en la tabla 8

**Tabla 8***Datos del error relativo*

<b>HORA</b>	<b>PROTOTIPO 1</b>	<b>PROTOTIPO 2</b>	<b>PROTOTIPO 3</b>	<b>ERROR RELATIVO 2 RESPECTO AL 1</b>	<b>ERROR RELATIVO 3 RESPECTO AL 1</b>
9:00 a. m.	13,8	16,4	16,5	18%	19%
9:10 a. m.	13,8	17,1	17,6	24%	28%
9:20 a. m.	13,6	17,9	20,2	32%	49%
9:30 a. m.	14,9	18,3	23,6	23%	59%
9:40 a. m.	16,1	19,2	23,2	19%	44%
9:50 a. m.	17,4	20,1	23,9	16%	37%
10:00 a. m.	18,5	21,5	24,7	16%	34%
10:10 a. m.	18	20,5	25,1	14%	39%
10:20 a. m.	18,7	21,9	25,8	17%	38%
10:30 a. m.	19,4	23,5	25,7	21%	32%
10:40 a. m.	19,7	25,9	26,1	31%	32%
10:50 a. m.	20,7	27,2	26,7	31%	29%
11:00 a. m.	20,8	28,1	27,9	35%	34%
11:10 a. m.	20,8	29,2	27,5	40%	32%
11:20 a. m.	21,3	30,1	28,9	41%	36%
11:30 a. m.	22,6	28,3	29,6	25%	31%
11:40 a. m.	23,1	32	30	39%	30%
11:50 a. m.	24,3	32,7	32,2	35%	33%
12:00 p. m.	24,1	34,6	33,8	44%	40%
12:10 p. m.	25,4	35,1	31,5	38%	24%
12:20 p. m.	25,2	35,5	31	41%	23%
12:30 p. m.	25,6	36,5	31,1	43%	22%
12:40 p. m.	27,5	38,7	32,5	41%	18%
12:50 p. m.	29	39,9	32,5	37%	12%
1:00 p. m.	30,1	41,3	32,6	37%	8%
<b>PROMEDIO TOTAL</b>				<b>30%</b>	<b>31%</b>

Dentro del prototipo 2 con la colocación de un fondo negro, ayuda a que el sistema una vez que está en equilibrio absorba mayor radiación respecto a la teoría de cuerpos negros y al ser el plástico de las fundas de leche brillante mejora el proceso, incrementando el porcentaje de temperatura en un 30% respecto al prototipo 1.

Dentro del prototipo 3 se colocó una superficie plástica que cumple la función de un acristalamiento similar al del muro Trombe cubriendo el prototipo, ayudo a que la energía solar atravesase el plástico en forma de radiación y también por convección absorba parte del calor del aire en el colector para generar un doble efecto invernadero con las botellas y el fondo negro, incrementando el porcentaje de temperatura en un 31% respecto al prototipo 1.

De acuerdo a los valores del porcentaje final del prototipo 3, la pantalla acristalada no presenta una mejora relevante en el incremento de la temperatura, sin embargo, la pantalla acristalada va a permitir la protección contra el polvo, basura y lluvia, cabe mencionar que la implementación de esta pantalla acristalada aumenta el costo del diseño, haciendo no necesario su implementación.

#### **5.4 Análisis de resultados con Energía Eléctrica**

Una investigación indica que una ducha eléctrica consume 55 [kWh] de manera mensual, y que la producción anual de CO<sub>2</sub> es de 230 [kg] (Macías et al., 2018).

La Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad (CNELEP) indica que el valor por cada 1 [kWh] es de \$ 0,078 Ver anexo 6 (CNELEP, 2020).

Para la realización de esta prueba se utilizó un recipiente de 20 [L] y un termómetro para medir la temperatura. Se procede a dejar abierto la ducha eléctrica y se deja correr el agua hasta alcanzar una temperatura máxima de 41,3 [°C], este valor de temperatura es el valor alcanzado con el Prototipo 2 (Anexo 4), seguido se tomó el tiempo en el que se llenó el recipiente de 20 [L].

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos durante la prueba.

**Tabla 9***Datos de calentamiento de agua con Ducha eléctrica*

POTENCIA (kW)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	VOLTAJE (V)	TIEMPO (min)	TIEMPO (h)
5,4	13,6	41,3	127	7	0,113

Con estos valores se calcula el costo que genera calentar agua con energía eléctrica.

Estos cálculos realizados son para obtener el calor que aportó el sistema para el calentamiento de agua con las ecuaciones 20, 21 y 22.

**DATOS INICIALES**

$$Temperatura_{inicial} = 13,6 [^{\circ}C]$$

$$Potencia_{ducha} = 5400 [W]$$

$$Tiempo_{de llenado} = 5,67 [min] = 0,095[h]$$

$$Flujo\ volumetrico\ de\ la\ ducha = \frac{V}{t} \quad (20)$$

$$Flujo\ volumetrico = \frac{20\ L}{0,095h} = 210,53[\frac{L}{h}]$$

$$Flujo\ másico = \frac{20\ L}{0,095h} = 210,53[\frac{L}{h}]$$

$$Q_{(Nominal\ ducha)} = Potencia * Tiempo\ de\ llenado \quad (21)$$

$$Q_{Nominal\ ducha} = 5400 [W] * 0,095[h]$$

$$Q_{Nominal\ ducha} = 513[Wh]$$



## DATOS REALES

$$Temperatura_{final} = 41,3 [^{\circ}C]$$

$$t_{de\ llenado} = 7 [min] = 420 [s]$$

$$Densidad_{agua} = 1[\frac{kg}{L}]$$

$$Flujo\ volumetrico\ de\ la\ ducha = \frac{V}{t}$$

$$Flujo\ volumetrico = \frac{20\ L}{420\ s} = 0,048[\frac{L}{s}]$$

$$Flujo\ másico = 0,048[\frac{L}{s}] * 1[\frac{kg}{L}]$$

$$Flujo\ másico = 0,048[\frac{kg}{s}]$$

$$\dot{Q}_{agua} = \dot{m} * C_P * (T_{fo} - T_{fi}) \quad (22)$$

$$\dot{Q}_{agua} = 48 [\frac{g}{s}] * 4,186[\frac{J}{g^{\circ}C}] * (41,3 - 13,6) [^{\circ}C]$$

$$\dot{Q}_{agua} = 5565,71 [W] * 0,113[h]$$

$$\dot{Q}_{agua} = 628,93 [Wh]$$

En donde se tiene que el agua absorbió una cantidad de calor de 628,93 [Wh] en la utilización de la ducha eléctrica.

### 5.5 Análisis de resultados con GLP

Para la realización de esta prueba se necesita una olla de 20 [L], se pesa el tanque de gas al inicio y al finalizar el calentamiento del agua en la hornilla de la cocina, se revuelve

el agua que está en la olla descubierta de manera constante, ahí se procede a tomar la temperatura y el tiempo en que llega a 41 [°C]. (Anexo 5).

Con estos datos que se obtienen se presenta en la tabla 10 y se realiza un cálculo para conocer cuánto se consumió de GLP y su costo al calentar esa cantidad de agua.

**Tabla 10**

*Datos de calentamiento de agua con GLP*

PARÁMETROS	TEMPERATURA	PESO	PESO (g)	COSTO (\$)
	(°C)	(kg)		
Inicial	13,6	26,04	26040	1,6
Final	41,5	25,57	25570	0,03

El tiempo en que se llegó a calentar el agua a esa temperatura es de 13,03 minutos.

### Calor en el calentamiento de agua con GLP

#### Calor absorbido por el agua

$$Q = m C_e (T_f - T_o) \quad (23)$$

$$Q = 20000 [g] * 4,186 \left[ \frac{J}{g^{\circ}C} \right] * (41,5 - 13,6) [^{\circ}C]$$

$$Q = \frac{2335788 J}{781,8 s}$$

$$Q = 2987,71 [Wh]$$

#### Calor aportado por el GLP

$$\text{Masa molar del propano} = 44,1 \left[ \frac{g}{mol} \right]$$

$$\text{Masa molar del propano} = 58,1 \left[ \frac{g}{mol} \right]$$

$$VC_3H_8 = 13020 [g] C_3H_8 * \frac{1 [m^3]}{493 [kg]} * \frac{1 [kg]}{1000 [g]} * \frac{1000 [L]}{1 [m^3]} = 26,40 [L]$$

$$VC_4H_{10} = 13020 [g] C_4H_{10} * \frac{1 [m^3]}{573 [kg]} * \frac{1 [kg]}{1000 [g]} * \frac{1000 [L]}{1 [m^3]} = 22,70 [L]$$

$$PV = nRT \quad (24)$$

$$mC_3H_8 = \frac{1 [atm] * 26,40 [L] * 44,1 \left[ \frac{g}{mol} \right]}{0,082 \left[ \frac{atm L}{mol K} \right] * 273 [K]} = 52,01 [g]$$

$$mC_4H_{10} = \frac{1 [atm] * 22,70 [L] * 58,1 \left[ \frac{g}{mol} \right]}{0,082 \left[ \frac{atm L}{mol K} \right] * 273 [K]} = 58,91 [g]$$

$$\text{Poder calorífico propano} = 12,86 \left[ \frac{kWh}{kg} \right]$$

$$\text{Poder calorífico butano} = 12,44 \left[ \frac{kWh}{kg} \right]$$

$$Q = m * Cp \quad (25)$$

### **Propano**

$$Q = 0,6687 [kg] * 12,86 [\frac{kWh}{kg}]$$

$$Q = 8,59 [kWh]$$

$$Q = 8590 [Wh]$$

### **Butano**

$$Q = 0,059 [kg] * 12,44 [\frac{kWh}{kg}]$$

$$Q = 0,733 [kWh]$$

$$Q = 733 [Wh]$$

### **GLP**

$$(Butano + Propano) = 8590 [Wh] + 733 [Wh]$$

$$GLP = 9323 [Wh]$$

$$Rendimiento = \frac{2987,71 Wh}{9323 Wh} * 100$$

$$Rendimiento = 32\%$$

En donde se tiene que el calor que aportó el GLP es de 9323 [Wh] para el calentamiento del agua.

## **5.6 Discusión de resultados**

Dentro de las pruebas realizadas para cada uno de los prototipos se determinó el calor absorbido por el colector, tomando en cuenta las temperaturas iniciales y finales alcanzadas. La temperatura inicial del prototipo 1 fue de 13,8 [°C] a las 9:00 am, a la 1:00 pm alcanzó una temperatura máxima de 30,1 [°C], a su vez con el cálculo del calor absorbido el prototipo 1 obtuvo un valor de 94,38 [Wh] en promedio, al compararla con el prototipo 2 obtenemos un hallazgo significativo, ya que al colocar el tablero con el fondo negro teniendo una temperatura inicial de 16,4 [°C] a las 9:00 am, alcanzamos una temperatura mayor de calentamiento de 41,3 [°C] a la 1:00 pm, así mismo se obtuvo un valor de calor absorbido de 144,96 [Wh].

Por otra parte, se obtuvo el error relativo del prototipo 2 respecto al prototipo 1, donde se evidenció un incremento de temperatura del 30%.

A su vez se pudo observar que la temperatura máxima del prototipo 3 respecto al prototipo 1 no presentó una variación considerable, dentro de esto la temperatura inicial fue de 16,5 a las 9:00 am, alcanzando una temperatura máxima de 32,6 [°C] a la 1:00 pm, además el valor de calor absorbido fue de 93,41 [Wh]. Al colocar la cubierta plástica se obtuvo el error relativo del prototipo 3 respecto al prototipo 1, donde se evidenció un incremento de temperatura del 31%, considerando que no es un valor representativo.

Teniendo en cuenta estos resultados, se menciona que el prototipo 2 es la mejor opción para el calentamiento de agua, satisfaciendo la demanda del usuario.

## **5.7 Análisis Económico**

En este punto se presenta el análisis económico del proyecto, que es la construcción de un colector solar y los accesorios para las otras pruebas, tenemos el primer prototipo con botellas PET, manguera, tubería PVC y aluminio, para el segundo prototipo se añade la caja de madera con el fondo negro de leche y para el tercero se coloca una cubierta plástica similar al de los invernaderos. Se menciona los costos de cada material para la construcción de estos prototipos y sin incluir el valor de mano de obra.

### **5.7.1 *Lista de materiales y de equipos***

El costo total de los tres prototipos es de 200 dólares si se adquiere todo de primera mano y aquí no se incluye la mano de obra. Como se visualiza en las tablas 11, 12 y 13, se encuentran los materiales necesarios para la construcción con su costo unitario y el subtotal de la cantidad utilizada para la elaboración de los tres prototipos.

**Tabla 11***Costos (Prototipo 1)*

RECURSO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
Tanque de plástico de 20 litros reciclado	1	\$30,51	\$30,51
Manguera negra	100	\$0,40	\$40,00
Papel aluminio	1	\$2,50	\$2,50
Teflón	5	\$0,40	\$2,00
Botellas PET	32	\$0,02	\$0,64
permatex	1	\$3,25	\$3,25
universal	1	\$0,65	\$0,65
Uniones T de PVC	20	\$0,65	\$13,00
Abrazaderas metálicas	20	\$0,30	\$6,00
silicona neutra	1	\$3,50	\$3,50
Tubo gris de PVC	2	\$9,75	\$19,50
Tubo rojo de PVC	1	\$12,00	\$12,00
Neplos de rosca y pico	24	\$0,50	\$12,00
Pegamento para tubo de PVC	1	\$1,50	\$1,50
Codos PVC	20	\$0,45	\$9,00
Llave	1	\$5,50	\$5,50
Transporte de materiales	1	\$5,00	\$5,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$166,55</b>

**Tabla 12***Costos (Prototipo 2)*

RECURSO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
Tanque de plástico de 20 litros reciclado	1	\$30,51	\$30,51
Manguera negra	100	\$0,40	\$40,00
Papel aluminio	1	\$2,50	\$2,50
Teflón	5	\$0,40	\$2,00
tarro de pintura negro	1	\$15,00	\$15,00
Bolsas de leche	30	\$0,03	\$0,75
Botellas PET	32	\$0,02	\$0,64
permatex	1	\$3,25	\$3,25
universal	1	\$0,65	\$0,65
Uniones T de PVC	20	\$0,65	\$13,00
Abrazaderas metálicas	20	\$0,30	\$6,00
silicona neutra	1	\$3,50	\$3,50
Tubo gris de PVC	2	\$9,75	\$19,50
Tubo rojo de PVC	1	\$12,00	\$12,00
Neplos de rosca y pico	24	\$0,50	\$12,00
Pegamento para tubo de PVC	1	\$1,50	\$1,50
Codos PVC	20	\$0,45	\$9,00
Llave	1	\$5,50	\$5,50
Tachuelas	50	\$0,05	\$2,50
Clavos	20	\$0,15	\$3,00
Pallet de madera	1	\$4,50	\$4,50
Tiras de madera reciclada	20	\$0,25	\$5,00
Transporte de materiales	1	\$5,00	\$5,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$197,30</b>



**Tabla 13***Costos (Prototipo 3)*

RECURSO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
Tanque de plástico de 20 litros reciclado	1	\$30,51	\$30,51
Manguera negra	100	\$0,40	\$40,00
Papel aluminio	1	\$2,50	\$2,50
Teflón	5	\$0,40	\$2,00
tarro de pintura negro	1	\$15,00	\$15,00
Bolsas de leche	30	\$0,03	\$0,75
Botellas PET	32	\$0,02	\$0,64
permatex	1	\$3,25	\$3,25
universal	1	\$0,65	\$0,65
Uniones T de PVC	20	\$0,65	\$13,00
Abrazaderas metálicas	20	\$0,30	\$6,00
silicona neutra	1	\$3,50	\$3,50
Tubo gris de PVC	2	\$9,75	\$19,50
Tubo rojo de PVC	1	\$12,00	\$12,00
Neplos de rosca y pico	24	\$0,50	\$12,00
Pegamento para tubo de PVC	1	\$1,50	\$1,50
Codos PVC	20	\$0,45	\$9,00
Llave	1	\$5,50	\$5,50
Tachuelas	50	\$0,05	\$2,50
Clavos	20	\$0,15	\$3,00
Pallet de madera	1	\$4,50	\$4,50
Tiras de madera reciclada	20	\$0,25	\$5,00
plastico de invernaderos	1	\$2,70	\$2,70
Transporte de materiales	1	\$5,00	\$5,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$200,00</b>

### 5.7.2 Costo por utilizar ducha eléctrica

$$Potencia_{ducha} = \text{Vatios} * \text{tiempo} \quad (26)$$

$$Potencia_{ducha} = 5,4 [kW] * 0,13 [h]$$

$$Potencia_{ducha} = 5,4 [kW] * 0,13 [h]$$

$$Potencia_{ducha} = 0,702 [kWh]$$

$$Costo_{kW \ ducha} = Potencia_{ducha} * Costo_{kW.h \ Ecuador} \quad (27)$$

$$Costo_{kW \ ducha} = 0,702 [kWh] * 0,083 \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$$

$$Costo_{kW \ ducha} = \$0,06$$

### 5.7.3 Costo por utilizar GLP para calentar agua

En la actualidad en el Ecuador los cilindros de gas domésticos tienen un precio de 1,60 dólares por tanque de almacenamiento de 15 [kg] (Pacheco, 2015).

Entre ellos, Ecuador produjo 27,8 millones de cilindros, el costo real por cilindro fue de \$ 6, el precio de venta es de \$ 1,60 y el subsidio fue de \$ 4,4 por barril. Los 22,7 millones de cilindros de GLP se importan a \$ 15 por cilindro. En este caso, cada cilindro está subsidiado en \$ 13,40 (Villavicencio y Ruiz, 2019).

Según las características del mercado, los distribuidores comercializan el GLP a \$2 más al precio oficial. Incluidos el transporte y la instalación de cilindros de gas en casa (El Telégrafo, 2019).

#### 5.7.3.1 Calculo del costo de gas por calentar 20 L de agua.

$$COSTO = PESO INICAL [g] - PESO FINAL [g] \quad (28)$$

Después de eso se realiza una regla de tres con el precio de la bombona de gas y el peso inicial para conocer el costo por el consumo de gas al calentar el agua.

A continuación, se calcula el costo del gas utilizado para calentar 20 [L] de agua:

#### Costo de gas con subsidio

$$Costo = 26040 [g] - 25570 [g]$$

$$Costo = 470 [g]$$

$$Costo = 26040 [g] - - - -\$1,60$$

$$470 [g] - - - -\$x$$

$$Costo = \$0,03$$

#### Costo de gas sin subsidio

$$Costo = 26040 [g] - - - -\$13,40$$

$$470[g] - - - -\$x$$

$$Costo = \$0,24$$

Como se aprecia se realiza el cálculo del tanque de gas con subsidio arrojando un valor de \$0,03 y sin subsidio arroja un valor de \$0,24.

Una vez obtenido los costos por calentamiento de agua con energías alternativas y el colector solar, se presenta una tabla informativa:

**Tabla 14**  
*Información de costos*

<b>PARÁMETROS RECURSOS</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>VOLUMEN (L)</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Colector solar (prototipo 2)	41,3	4	20	0
Ducha eléctrica	41,3	0,13	20	0,06
GLP	41,3	0,22	20	0,03

**Tabla 15**  
*Comparación de calentadores de agua*

<b>CALENTADORES DE AGUA</b>			
<b>COMPARATIVO</b>	<b>GLP</b>	<b>ELÉCTRICO</b>	<b>SOLAR</b>
Costo diario	0,03	0,06	0
Tiempo de vida útil	3 años	2 años	5 años
Peligroso	Si	No	No
Costo anual	10,95	21,9	0

Al haber calculado el costo diario de consumo de las energías para el calentamiento de agua se procedió a multiplicar por los 365 días del año para obtener el costo anual. Se debe tener en cuenta que el costo anual obtenido está considerado únicamente para una persona, la cual ocupa un volumen promedio de 20 [L], se tiene que las duchas de

cabezales de bajo consumo gastan 8 [L/min] (REDACCION LEEQUID, 2016) cuando la ducha se mantiene abierta en nuestro caso para ocupar este volumen de 20 [L] se puede cerrar la llave para que no se desperdicie agua al momento del jabonado, de esta manera se puede tomar un baño con esta cantidad de agua.

## **5.8 Análisis Social**

Ecuador es un país en vías de desarrollo, durante el boom petrolero de la década de 1970, Ecuador ha estado trabajando arduamente con el fin de brindar y cubrir las necesidades de las personas y mejorar su calidad de vida, proceso que viene repitiendo durante los últimos 7 años. Existe un crecimiento en el costo del petróleo, pero se debe tener presente que el petróleo es una fuente de energía no renovable y está disminuyendo, sin una gran cantidad de reservas de hidrocarburos, Ecuador no puede mantener esta estructura energética, ya que el 90% del mismo es generado por derivados de combustibles. Por eso hay un problema en el país, y el propósito de este trabajo es mostrar beneficios sociales (Piña, 2012).

El impacto con importancia de estos proyectos en el desarrollo del Ecuador es sin duda el impacto económico bajo la premisa de no perjudicar los intereses ambientales. La cantidad de inversión privada generada por estos proyectos ha tenido un gran impacto en la economía del país, que requiere de estos recursos para promover su desarrollo económico y así traer beneficios sociales (Navarrete et al., 2014).

En cuanto al consumo de energía solar y su impacto en el Producto Interno Bruto (PIB), se puede mencionar que esta energía también tiene un impacto

positivo en el consumo. Además de tener un impacto social positivo en el desarrollo de estas comunidades, nuevas fuentes de energía como la energía solar y otras áreas rurales de difícil acceso también generarán nuevos clientes potenciales (p. 45).

#### **5.8.1 *Impacto social en el Ecuador por la energía solar***

Roldán y Velasco (2013) mencionan que en este capítulo se tratará de estudiar más profundamente los beneficios para la sociedad y tratar de descubrir el daño que puede traer a la sociedad. En primer lugar, se debe determinar qué grupos o partes de la sociedad se benefician o perjudican más con estos proyectos. En este estudio se consideraron específicamente dos grupos, áreas rurales y áreas urbanas en Ecuador, y analizaremos cómo el uso de energías no renovables afecta directamente a estos grupos.

La energía solar en el Ecuador puede ser aprovechada por zonas rurales los cuales pueden ser beneficiarias de este tipo de energía. La prestación de estos servicios en las zonas rurales lo están dando ciertas empresas privadas. Además de utilizar colectores solares para el uso sanitario, uno de los beneficios que se logrará es la búsqueda de brindar una mejor calidad de vida. Los colectores solares proporcionan el calentamiento del agua, pero esto abre la puerta a múltiples servicios (pp. 37-38).

Como menciona Roldán y Velasco (2013) en cuanto a las zonas urbanas, se puede decir que son las que más se pueden beneficiar de la energía solar. Se pueden encontrar usos múltiples en cuanto al uso privado de la energía solar. Los colectores solares casi no requieren de limpieza y mantenimiento, esto

permite que, al momento de su instalación, el costo de mantenerlos en funcionamiento es de cero. Por tanto, si se puede utilizar en el hogar para el calentamiento de agua y el uso sanitario. En definitiva, el principal beneficio de utilizar energía solar en el hogar es el coste. Una vez instalado el colector, el costo de usar energía solar es casi cero, porque no hay costo de mantenimiento, el único costo es la instalación y el uso de energía es el uso de la vida útil del equipo.

Además, se puede decir que los proyectos solares a gran escala pueden beneficiar a las zonas urbanas. Si el estado brinda más fuentes de empleo para este tipo de proyectos, se puede encontrar nuevos clientes para el uso de esta energía para el calentamiento de agua. Además, si volvemos a mencionar la oferta y la demanda, si hay más oferta, el precio del uso de la energía bajará, beneficiando a todos los ciudadanos (p. 36).

## **5.9 Análisis Ambiental**

La sociedad industrializada de hoy necesita y utiliza mucha energía para diferentes actividades como: funcionamiento de máquinas, transporte de mercancías y personas y generar luz, calor o frío. El sistema de actual se basa en proporcionar gran cantidad de energía a bajo costo.

Según el Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental (2011) menciona que la matriz energética del Ecuador, la energía se divide en dos categorías:

### **Energía primaria:**

- Petróleo Crudo

- Gas Natural
- Hidroenergía
- Bagazo de caña

### **Energía secundaria**

- **Electricidad:** La energía transmitida por los electrones en movimiento incluye la energía eléctrica generada por cualquier recurso, ya sea primario o secundario, en centrales hidroeléctricas, centrales térmicas u otras fábricas.
- **Gas Licuado de Petróleo (GLP):** Consiste en una mezcla de hidrocarburos ligeros C3 y C4, que se obtienen de la destilación del petróleo y / o procesamiento de gas natural. Gasolina: queroseno y turbodiésel y gasóleo o aceite pesado (pp. 17-19).

Según Rogel (2016) la matriz energética actual muestra que el petróleo representa más de un tercio de la energía primaria total, lo que muestra su dependencia global del petróleo. Algunas estimaciones estiman que la demanda mundial de petróleo aumentará en aproximadamente un 50% en los próximos 20 años, de 85 millones de barriles por día en la actualidad a 126 millones de barriles por día en 2030.

Además, el deterioro del medio ambiente debido a la moderna tecnología de producción, la gran cantidad de sustancias que viajan a la atmosfera lo que ha ocasionado un cambio climático ha llevado a la convocatoria de diversas conferencias como el de las Naciones Unidas y la firma de tratados internacionales, aprobando así un cambio de la matriz energética mundial (p. 47).



Otra de las problemáticas que tenemos hoy el día como son los malos hábitos de la ciudadanía ante el ahorro energético, el desinterés en el uso de alternativas limpias para calentar el agua de uso doméstico, la conciencia ambiental de nuestra sociedad no está comprometida, así lo muestra la baja actividad frente al reciclaje de botellas plásticas (p. 25).

Actualmente, la energía solar térmica es la forma más eficaz y económica de utilizar la energía proveniente del sol. Al mismo tiempo, el uso de equipos de generación de energía solar también es una tecnología respetuosa con el medio ambiente. No solo puede reducir el impacto negativo que provoca la quema de combustibles fósiles emitiendo a la atmosfera de gases de efecto invernadero, sino también el costo (Perez et al., 2017).

Ante estos problemas ambientales, y para reducir el impacto ambiental generado, nace la idea de crear un prototipo de colector solar para el calentamiento de agua en una vivienda, mismo que está elaborado por tubería PVC, mangueras negras y botellas PET, estas cubren la manguera negra generando un efecto invernadero mediante la energía solar, con la finalidad de disminuir entre un 90 % las emisiones de carbono que van hacia la capa de ozono y el no uso de los tanques de GLP, además la reutilización de 32 botellas PET.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- Se diseñó y construyó un prototipo de colector solar para el calentamiento de agua con materiales reciclables, al cual se le realizó modificaciones para la prueba 2 y 3, el primer diseño tiene referencias de los diseños de estudios previos, pero reemplazando los materiales, y para el segundo y tercer diseño se incluyen mejoras basadas en conceptos de la transferencia de calor.
- La construcción del colector solar incluye materiales reciclables como botellas PET, manguera negra, aluminio y una interconexión de tubería PVC. El tanque utilizado también es reciclado. Para las mejoras se utilizó fundas plásticas y una estructura de madera reciclada de pallets.
- Las pruebas se realizaron en base a un procedimiento similar. Se obtuvieron valores de temperatura, en la primera prueba con un valor inicial a las 9:00 am de 13,8 [°C] llegando a un valor máximo de 30,1 [°C] a la 1:00 pm, en la segunda prueba con un valor inicial a las 9:00 am de 16,4 [°C] llegando a un valor máximo de 41,3 [°C] y por último la prueba 3 con un valor inicial a las 9:00 am de 16,5 [°C] llegando a un valor máximo de 32,6 [°C].
- Los cálculos que se realizaron para la obtención de calor absorbido para los colectores muestran que el prototipo 2 absorbió en promedio de radiación 144,96 [Wh] siendo este valor mayor al del prototipo 1 y 3, los mismos que obtuvieron en promedio valores de 94,38 [Wh] y 93,41 respectivamente, demostrando que los otros dos prototipos no absorben mayor cantidad de calor para llegar a una temperatura de 41,3 [°C].

- El análisis económico por el uso de energía determinó que el colector solar calienta 20 [L] de agua en 4 h con costo energético de 0 dólares, el costo del GLP para el calentamiento de la idéntica cantidad de agua es de 3 centavos de dólar y en tiempo en 0,22 h, y, el costo de la electricidad al usar una ducha eléctrica para calentar la misma cantidad de agua en 0,13 h es de 6 centavos de dólar.
- El prototipo 3 utiliza un plástico como pantalla acristalada que produce un efecto invernadero en el colector. Las pruebas muestran que esta mejora no logra un incremento de temperatura considerable, por lo cual no se recomienda su colocación reduciendo el costo por el material.

## **6.2 Recomendaciones**

- Para la construcción del colector solar se recomienda utilizar botellas plásticas PET de 1,5 [L], ya que presenta geometría uniforme permitiendo la absorción del calor en ángulos rectos respecto a la superficie.
- Lavar bien las botellas plásticas para evitar impurezas, contribuyendo a que los rayos del sol traspasen de manera directa y se genere el efecto invernadero.
- Al elegir la ubicación del colector, asegurarse de que sea un lugar donde exista mayor radiación solar.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Baddou, Y. (2017). *Solar thermal systems for domestic water heating applications in residential buildings. Efficiency and economic viability analysis of monitored plants*. Barcelona: UEMF-MARRUECOS / UPC-BARCELONA-ESPAÑA.
- Barrientos, C. (febrero de 2017). *Calentador solar de agua para usos domésticos con control de variables y funcionamiento con arduino*. Santa Tecla: ITCA-FEPADE. Obtenido de itca.
- Cabrera, A., y Rios, M. (septiembre de 2014). Sistema alternativo para calentamiento de agua utilizando la energía sola, sistemas SODIS en una de las viviendas del cantón Colimes. Guayaquil: UG. Obtenido de repositorio UG: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12618>
- Cacho, L., y Mendoza, L. (noviembre de 2014). Contrucción y diseño de un concentrador solar con materiales de bajo costo, para desinfección de agua para su aplicación en comunidades marginadas. Valdivia: Institucional. Obtenido de repositorio institucional: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/217>
- Calero, E., y Villaroel, D. (Agosto de 2019). Diseño y construcción de un sistema de calntamiento de agua activo mediante el usos de politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo y cobre. Quito: UPS. Obtenido de repositorio ups: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17681>
- Calle et al. (2010). Agua caliente sanitaria de uso doméstico con Energía Solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, 57-65.
- Camargo, A. (2013). Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables PET y análisis comparativo con otros colectores solares. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA*, 17-21.
- Camargo, C. (15 de septiembre de 2018). *Los 5 mejores calentadores de agua eléctricos para la ducha*. Obtenido de laopinion: <https://laopinion.com/guia-de-compras/los-5-mejores-calentadores-de-agua-electricos-para-la-ducha/>
- Carretero, M. (2012). Construimos un calentador de agua solar para trabajar la sostenibilidad. *Eureka*, 146-148.
- Cengel, A., y Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGrawHill. Obtenido de 978-607-15-0540-8
- Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental. (2011). *Hacia una matriz energética en Ecuador*. Obtenido de CEDA: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00344.pdf>

- Chacon, V. (noviembre de 2015). Análisis de materiales y geometrias para el diseño y construcción de prototipos de colectores solares térmicos. Quito: UTE. Obtenido de repositorio UTE: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14584>
- Circularis. (2020). *Ciclo de vida PET*. Obtenido de <https://circularis.es/es/ciclo-de-vida-pet/>
- CNELEP. (01 de enero de 2020). *Pliego Tarifario para las empresas electricas de distribución*. Obtenido de cnelep: [www.cnelep.gob.ec](http://www.cnelep.gob.ec)
- De la Torre, J. (2018). Resumen de viabilidad de un calentador de agua solar de polietileno Botellas de tereftalato para áreas rurales en Guatemala. Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Universidad Rafael Landívar.
- Domingo. (2011). Apuntes de transmisión del calor. Madrid: UPM.
- Ecofener. (26 de Septiembre de 2018). *Tubos de vacío, tecnología eficaz en colectores solares*. Obtenido de <https://ecofener.com/blog/tubos-vacio-tecnologia-eficaz-colectores-solares/>
- El Telégrafo. (2019). La tarifa del servicio a domicilio del gas doméstico no está regulada. *revistagestion*, 1-2.
- Equipos de alto rendimiento. (2015). Dimensionamiento para calentamiento de agua. *LGT Solar*. Lima. Obtenido de [www.lgtsolar.com](http://www.lgtsolar.com)
- ESPACIOTECA. (2010). *Qué es la radiación solar. Tipos de radiación solar*. Obtenido de Espacio para estudiar: <http://espacioteca.blogspot.com/2010/09/que-es-la-radiacion-solar-tipos-de.html>
- Estrada, C. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física*, 75-84.
- Fauroux et al. (mayo de 2016). Modelado, y análisis económico de colectores solares planos. 1-14. Obtenido de Reddi: <http://repositoriocy.unlam.edu.ar/handle/123456789/145>
- FERROLI. (2017). *Colector solar ecoextens*. Obtenido de <https://www.ferroli.com/es/products/solar-termico/colector-solar-ecoextens>
- Franco, M. (2017). Propuesta para la sustitución de envases PET para agua por enavses de vidrio retornable en Guayaquil. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO.
- García, S. (21 de Julio de 2015). *Contaminación por el plástico*. Obtenido de EL FINANCIERO: <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-por-el-plastico>

- Giannetti, F. (22 de Junio de 2020). *Energías sustentables: Colector solar basado en energía solar fototérmica*. Obtenido de Universidad Nacional de Mar de Plata: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/429/FGIannetti-TFG-IMe-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, J. (2016). Diagnóstico del impacto del plástico - botellas sobre el medio ambiente: un estado del arte. Facatativá: USTA. Obtenido de UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS: <http://hdl.handle.net/11634/10047>
- Granja, E. (2010). Implementación de un sistema de control de calidad de los materiales de envases y determinación del desperdicio, rendimiento en las líneas de producción: UHT (TBA) y (APP) en la planta LECOCHEM – PARMALAT. Chimborazo: ESPOCH. Obtenido de esPOCH: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2287>
- Grupo Vanti. (2017). *Distribución del gas natural*. Obtenido de VantiV: <https://www.grupovanti.com/conocenos/el-gas-natural/que-es/>
- Hidalgo, J. (Marzo de 2018). Análisis para la implementación de máquinas biorecicladoras de envases PET en la Universidad de Guayaquil en el año 2018. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36387>
- Himangshu, R. (noviembre de 2017). Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. *Elsevier*, 119-123. Obtenido de Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248471630097X>
- Husain, A. (2015). Calentador de agua solar de botellas de plástico y cartón de bebidas. *Revista de Ingeniería y Desarrollo*, 34-35.
- INEC. (2018). *Información Ambiental en hogares*. Obtenido de INEC: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Hogares/Hogares\\_2018/Boletin\\_AMB\\_MULT\\_2018.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2018/Boletin_AMB_MULT_2018.pdf)
- Jaimes, M. (2012). Petróleo: historia y perspectivas geopolíticas. *Aldea Mundo*, 65-70.
- Kassem et al. (2017). A Comparison of Two Multiple Criteria Decision Methods for Solar Thermal Power Collecting Technologies Evaluation. 1-8. Obtenido de academia: [https://www.academia.edu/33166460/A\\_Comparison\\_of\\_Two\\_Multiple\\_Criteria\\_Decision\\_Methods\\_for\\_Solar\\_Thermal\\_Power\\_Collecting\\_Technologies\\_Evaluation](https://www.academia.edu/33166460/A_Comparison_of_Two_Multiple_Criteria_Decision_Methods_for_Solar_Thermal_Power_Collecting_Technologies_Evaluation)
- Krawczyk et al. (18 de abril de 2019). Efficiency of a solar collector system for the public building depending on its location. *springer link*, 101-110. Obtenido de springer link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-05077-2>
- Libera. (2018). *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza*. Obtenido de proyectolibera: [www.proyectolibera.org](http://www.proyectolibera.org)

- Llanes, E., y Guastay, W. (2020). El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador. Quito: Universidad SEK. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4066>
- Lobato, G., y Barrena, M. (2016). Eficiencia de una terma solar con colector de cobre y colector de CPVC para zonas altoandinas. *xxiiispes*, 1-10. Obtenido de Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza: [www.xxiiispes.perusolar.org](http://www.xxiiispes.perusolar.org)
- Macías et al. (Diciembre de 2018). Los diferentes costos que tiene la energía eléctrica en el Ecuador considerando los cambios de la estructura actual. *RIEMAT*, 1-8.
- Mendoza, J., y Ritual, J. (2015). *Eficiencia térmica de un calentador solar doméstico de agua hecho con botellas plásticas, Chachapoyas-Amazonas, 2014*. Chachapoyas. Obtenido de untrm: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/261>
- Mendoza, M. (octubre de 2016). *Evaluación de la calidad y estabilidad a tres marcas de leches ultrapasteurizadas, envasada en fundas de polietileno*. Guayaquil: UG. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12941>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (Enero de 2020). *El precio del gas licuado de petróleo (GLP) doméstico se mantiene en USD 1,60 en depósitos con la respectiva facturación electrónica*. Obtenido de [recursosyenergia.gob.ec](http://www.recursoyenergia.gob.ec)
- Miranda, G. (2018). Diseño y medición del rendimiento de un colector solar de agua sanitaria construido a partir de botellas recicladas de doble capa. *ICU*, 49-59. Obtenido de <http://repositorio.umaza.edu.ar/ojs/index.php/icu/article/view/79>
- Mora, E et al. (2017). Diseño de un colector térmico solar a partir de neumáticos usados para el calentamiento de agua sanitaria en aplicaciones domésticas. *Espacios*, 22-26.
- Moreano et al (diciembre de 2019). Rendimiento y eficiencia de distintas técnicas de control en un calefón eléctrico. *scielo*, 20-30. Obtenido de [scielo](http://scielo.org).
- Muñetón et al. (Diciembre de 2017). Brechas entre hábito y actitud en el consumo de bebidas empaquetadas en PET, Medellín-Colombia. *Produccion mas limpia*, 118-130. Obtenido de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1548/1426>
- Nace, T. (26 de Julio de 2017). *Ahora tenemos un millón de botellas de plástico por minuto, el 91% de las cuales no se reciclan*. Obtenido de Forbes: <https://www.forbes.com>
- Navarrete et al. (2014). *Análisis y comparación económica de la crisis del auge petrolero ecuatoriano en relación a los períodos de 1970 y 2000*. Quito: usfq. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3132>

- Naz, A. (2016). *Análisis comparativo de materiales para diferentes tecnologías fotovoltaicas*. Sevilla: idUS. Obtenido de us: <http://hdl.handle.net/11441/44255>
- Olmedo, J. (2014). Proyecto sobre manejo integral de desechos dirigido a los niños, niñas y adolescentes del comedor municipal del centro de atención múltiple del gobierno autónomo descentralizado. Cantón Riobamba - provincia de Chimborazo. 2014. *epoch*, 64-65. Obtenido de epoch: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/6810>
- Ordoñez, J. (2010). *Reutilización de botellas de polietilén tereftalato (PET) mediante la aplicación de energía solar térmica de baja temperatura en un nuevo colector solar plano de 500 w*. Quito: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/652>
- Pacheco, E. (2015). *Valoración del impacto socioeconómico por la eliminación del subsidio del gas licuado de petróleo en la zona Quitumbe en el sur de Quito*. Quito: UPS. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10151>
- Perez et al. (2017). Impacto ambiental y económico del uso de colectores solares en el Instituto de Ciencia Animal. *scielo*, 1-6.
- PERUPETRO S.A. (septiembre de 2010). *Conceptos básicos sobre el Gas Natural*. Obtenido de Perúpetro: <https://www.perupetro.com.pe>
- Piña, L. (2012). *Balanza comercial petrolera del Ecuador de los últimos cinco años*. Guayaquil: ucsg. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6226>
- Placco et al.(2017). Colectores solares para agua Caliente. *INENCO*, 1-17.
- Primagas. (Enero de 2020). *Gas Propano: Fórmula, Combustión y Poder Calorífico*. Obtenido de Primagas: <https://blog.primagas.es/propano>
- REDACCION LEEQUID. (22 de Octubre de 2016). Cuánta agua gasta una ducha por minuto. *El Plural*. Obtenido de [www.elplural.com](http://www.elplural.com)
- Revista Pudú. (18 de Junio de 2020). *Día mundial contra la incineración: La quema de plástico puede llegar a ser letal para el humano*. Obtenido de PUDU: <https://revistapudu.cl/dia-mundial-contra-la-incineracion-la-quema-de-plastico-puede-llegar-a-ser-letal-para-el-humano/>
- Rogel, L. (2016). *Análisis de impacto económico al utilizar paneles solares de botellas PET recicladas, para calentar el agua de consumo doméstico en las familias del barrio Puengasí en la ciudad de Quito*. Obtenido de ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12067>
- Roldán, F., y Velasco, A. (2013). *El impacto social económico y ambiental de la energía solar renovable dentro del Ecuador y su matriz energética*. Quito: usfq. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3035>



- Salamanca, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Scielo*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Sanchez, L. (2010). *Análisis y diseño de un sistema de calefacción solar para agua caliente sanitaria*. Cuenca: UPS. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5051>
- Torres Santos, E. R., y Bucheli Naranjo, J. L. (2017). Construcción y modelación de un módulo didáctico de muro trombe mediante CFD para fomentar los estudios de la calefacción solar pasiva. Quito: EPN. Obtenido de EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17509>
- Torres, E. (13 de julio de 2010). *Leche UHT en Bolsa: Perfil de un empaque confiable para leche y derivados líquidos en bolsa*. Obtenido de portal lechero: <https://www.portalechero.com>
- Torres, H. (Abril de 2017). *Construcción y evaluación experimental de un colector solar con absorbedor de latas de aluminio para calentar agua de uso doméstico en Tacna*. Tacna: UNJBG. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1547>
- Uriol, J. (Julio de 2016). *Estudio de colectores solares multipasos con y sin almacenamiento térmico en el secado de productos agrícolas*. Piura. Obtenido de udep: <https://hdl.handle.net/11042/2585>
- Vargas, Y., y León, N. (2016). Exploración y explotación de petróleo: enfoque geográfico de los efectos ambientales en el Piedemonte llanero. *Perspectiva Geográfica*, 199-224.
- Verma, A. (enero de 2015). Solar Water Heating System. *academia*, 53-63. Obtenido de academia.
- Villavicencio, M., y Ruiz, M. (2019). Efecto de eliminar subsidio al gas para uso doméstico en el Ecuador. *RECUS*, 29-34.
- Weather Spark. (2020). *weather spark*. Obtenido de weatherspark: [es.weatherspark.com](https://es.weatherspark.com)

## 8. ANEXOS

### Anexo 1

*Radiación solar sensores de Weather Spark*

PROTOTIPO 1 Y 2		PROTOTIPO 3
HORA	kW	kW
9:00 a. m.	0,5	0,5
9:10 a. m.	0,51	0,51
9:20 a. m.	0,53	0,53
9:30 a. m.	0,55	0,55
9:40 a. m.	0,57	0,57
9:50 a. m.	0,59	0,59
10:00 a. m.	0,6	0,6
10:10 a. m.	0,61	0,61
10:20 a. m.	0,63	0,63
10:30 a. m.	0,65	0,65
10:40 a. m.	0,67	0,67
10:50 a. m.	0,69	0,69
11:00 a. m.	0,7	0,7
11:10 a. m.	0,71	0,71
11:20 a. m.	0,72	0,72
11:30 a. m.	0,73	0,74
11:40 a. m.	0,72	0,72
11:50 a. m.	0,71	0,71
12:00 p. m.	0,7	0,7
12:10 p. m.	0,69	0,69
12:20 p. m.	0,67	0,67
12:30 p. m.	0,65	0,65
12:40 p. m.	0,63	0,63
12:50 p. m.	0,61	0,61
1:00 p. m.	0,6	0,6

**Anexo 2***Datos de radiación solar de la estación de Guamaní*

ESTACIÓN GUAMANÍ PROTOTIPO 1							
HORA	11/12/2020	12/12/2020	13/12/2020	PROMEDIO	POTENCIA	PROMEDIO POTENCIA	ENERGÍA
	W/m2			W/m2	W	W	Wh
9:00:00	721,88	623,91	765,78	703,86	563,09		
10:00:00	719,3	476,54	717,91	637,92	510,33		
11:00:00	889,26	626,99	381,6	632,62	506,09	458,48	1833,91
12:00:00	694,55	567,67	426,13	562,78	450,23		
13:00:00	200,49	551,76	232,67	328,31	262,65		

ESTACIÓN GUAMANÍ PROTOTIPO 2							
HORA	14/12/2020	15/12/2020	16/12/2020	PROMEDIO	POTENCIA	PROMEDIO POTENCIA	ENERGÍA
	W/m2			W/m2	W	W	Wh
9:00:00	747,14	615	726,53	696,22	556,98		
10:00:00	878,49	638,91	579,7	699,03	559,23		
11:00:00	841,09	924,14	1018,88	928,04	742,43	574,03	2296,11
12:00:00	677,52	555,99	924,42	719,31	575,45		
13:00:00	631,72	525,04	478,43	545,06	436,05		

ESTACIÓN GUAMANÍ PROTOTIPO 3							
HORA	17/12/2020	18/12/2020	19/12/2020	PROMEDIO	POTENCIA	PROMEDIO POTENCIA	ENERGÍA
	W/m2			W/m2	W	W	Wh
9:00:00	648,23	651,92	450,98	583,71	466,97		
10:00:00	479,74	761,44	754,98	665,39	532,31		
11:00:00	391,4	857,81	652,37	633,86	507,09	419,48	1677,91
12:00:00	318,59	563,56	289,56	390,57	312,46		
13:00:00	443,06	371,48	230,1	348,21	278,57		

### Anexo 3

#### *Construcción del colector solar*



Materiales a utilizar para la construcción



Retiro de etiquetas y lavado de botellas PET



Inserción de botellas con aluminio en la manguera



Ensamblaje de tuberías y uniones





Obtención del Pallet de madera para la base



Corte de tablas para el armado de la estructura base



Armado de la estructura base



Pegado de bolsas de leche para segunda prueba



Prototipo 1



Prototipo 2



Prototipo 3





Toma de temperatura

**Anexo 4***Datos obtenidos*

Datos tomados el día 11, 12 y 13 de diciembre de 2020

<b>PROTOTIPO 1</b>				
<b>HORA</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>			<b>PROMEDIO</b>
	<b>VIERNES</b>	<b>SÁBADO</b>	<b>DOMINGO</b>	
	<b>11/12/2020</b>	<b>12/12/2021</b>	<b>13/12/2022</b>	
9:00 a. m.	14,9	13,2	13,4	13,8
9:10 a. m.	15,7	12,7	12,9	13,8
9:20 a. m.	13,5	13,5	13,7	13,6
9:30 a. m.	15,4	14,4	14,8	14,9
9:40 a. m.	16,9	15,6	15,9	16,1
9:50 a. m.	18,7	16,7	16,8	17,4
10:00 a. m.	20,6	17,3	17,5	18,5
10:10 a. m.	18,4	16,9	18,7	18
10:20 a. m.	19,3	17,5	19,3	18,7
10:30 a. m.	20,1	18,1	20,1	19,4
10:40 a. m.	21,4	18,4	19,4	19,7
10:50 a. m.	22,8	18,9	20,5	20,7
11:00 a. m.	24,7	19,4	18,4	20,8
11:10 a. m.	23,6	18,7	20,2	20,8
11:20 a. m.	24,8	19,3	19,8	21,3
11:30 a. m.	25,9	19,9	22,1	22,6
11:40 a. m.	26,7	20,8	21,7	23,1
11:50 a. m.	28,5	21,5	22,8	24,3
12:00 p. m.	28,4	20,9	23,1	24,1
12:10 p. m.	29,6	21,9	24,7	25,4
12:20 p. m.	27,7	22,7	25,2	25,2
12:30 p. m.	28,6	23,5	24,6	25,6
12:40 p. m.	29,8	24,8	27,9	27,5
12:50 p. m.	30,5	26,7	29,8	29
1:00 p. m.	31,4	28,3	30,5	30,1

Datos tomados el día 14, 15 y 16 de diciembre de 2020

<b>PROTOTIPO 2</b>				
<b>TEMPERATURA °C</b>				
<b>HORA</b>	<b>LUNES</b>	<b>MARTES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>PROMEDIO</b>
	14/12/2020	15/12/2021	16/12/2022	
9:00 a. m.	16,6	16,2	16,3	16,4
9:10 a. m.	17,1	17	17,1	17,1
9:20 a. m.	17,6	18,2	17,9	17,9
9:30 a. m.	18,3	18,4	18,3	18,3
9:40 a. m.	19,2	19,2	19,2	19,2
9:50 a. m.	20,1	20,2	20,1	20,1
10:00 a. m.	21,7	21,4	21,4	21,5
10:10 a. m.	20,5	20,3	20,6	20,5
10:20 a. m.	21,8	22,1	21,8	21,9
10:30 a. m.	23,5	23,5	23,5	23,5
10:40 a. m.	25,6	25,6	26,4	25,9
10:50 a. m.	27,2	27,2	27,2	27,2
11:00 a. m.	28,1	28,1	28,1	28,1
11:10 a. m.	29,2	29,2	29,3	29,2
11:20 a. m.	30,1	30,1	30	30,1
11:30 a. m.	28,3	28,3	28,3	28,3
11:40 a. m.	32,2	32,2	31,6	32
11:50 a. m.	32,7	32,7	32,7	32,7
12:00 p. m.	34,3	35,3	34,3	34,6
12:10 p. m.	34,9	34,9	35,6	35,1
12:20 p. m.	35,2	36,2	35,2	35,5
12:30 p. m.	33,8	37,8	37,8	36,5
12:40 p. m.	35,8	38,9	41,5	38,7
12:50 p. m.	36,7	39,7	43,2	39,9
1:00 p. m.	38,3	40,3	45,3	41,3

Datos tomados el día 17, 18 y 19 de diciembre de 2020

<b>PROTOTIPO 3</b>				
<b>TEMPERATURA °C</b>				
<b>HORA</b>	<b>JUEVES</b>	<b>VIERNES</b>	<b>SÁBADO</b>	<b>PROMEDIO</b>
	17/12/2020	18/12/2021	19/12/2022	
9:00 a. m.	18,2	16,1	15,2	16,5
9:10 a. m.	16,9	18,2	17,8	17,6
9:20 a. m.	17,1	22,1	21,5	20,2
9:30 a. m.	20,9	25,3	24,6	23,6
9:40 a. m.	18,4	25,8	25,4	23,2
9:50 a. m.	18,6	27	26	23,9
10:00 a. m.	19,5	27,2	27,3	24,7
10:10 a. m.	20,2	27,5	27,6	25,1
10:20 a. m.	21,5	28	28	25,8
10:30 a. m.	20,4	28,2	28,4	25,7
10:40 a. m.	23,6	27,6	27,2	26,1
10:50 a. m.	24,8	27,4	27,8	26,7
11:00 a. m.	26,1	28,7	28,9	27,9
11:10 a. m.	25,7	28,3	28,5	27,5
11:20 a. m.	23,6	31,6	31,4	28,9
11:30 a. m.	24,2	32,4	32,2	29,6
11:40 a. m.	23,5	33,1	33,4	30
11:50 a. m.	23,1	36,9	36,7	32,2
12:00 p. m.	22,1	39,7	39,5	33,8
12:10 p. m.	22,4	34,8	37,3	31,5
12:20 p. m.	21,2	35,5	36,3	31
12:30 p. m.	20,3	36,5	36,5	31,1
12:40 p. m.	22,5	37,2	37,8	32,5
12:50 p. m.	21	38,2	38,3	32,5
1:00 p. m.	21,4	37,5	38,8	32,6

## Anexo 5

*Calentamiento de agua con GLP y ducha eléctrica*

### Proceso para la toma de temperatura con GLP



Trasvase de 20 L a la olla



Peso del tanque antes de calentar el agua



Temperatura inicial del agua



Calentamiento de agua



Temperatura final del agua



Peso del tanque después de calentar el agua





Tiempo transcurrido al calentar el agua

### **Proceso para la toma de temperatura con ducha eléctrica**



Materiales para la medición de la temperatura en la ducha eléctrica

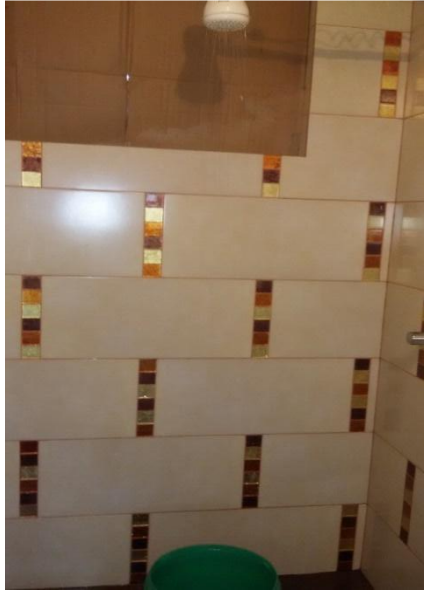




Medición de la temperatura de 41,3 °C



Medición de la temperatura de 41,3 °C en el recipiente



Llenado de recipiente de un volumen de 20 L



Recipiente lleno de un volumen de 20 L

## Anexo 6

### Tarifa de consumo eléctrico para Quito

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.				
CARGOS TARIFARIOS				
ENERO - DICIEMBRE **				
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACION (USD/Consumidor)	
CATEGORÍA	RESIDENCIAL			
NIVEL VOLTAJE	BAJO Y MEDIO VOLTAJE			
1-50		0,078	1,414	
51-100		0,081		
101-150		0,083		
151-200		0,087		
201-250		0,089		
251-300		0,101		
301-350		0,103		
351-500		0,105		
501-700		0,1285		
701-1000		0,1350		
1001-1500		0,1709		
1501-2500		0,2752		
2501-3500		0,4380		
Superior		0,6012		
	RESIDENCIAL TEMPORAL			
		0,1285		
CATEGORÍA	GENERAL			
NIVEL VOLTAJE	BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA			
	COMERCIAL		1,414	
1-300 Superior		0,081 0,104		
	E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO			
1-300 Superior		0,071 0,094		
	BOMBEO AGUA			
1-300 Superior		0,061 0,084		
	BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE			
1-300 Superior		0,058 0,086		
	INDUSTRIAL ARTESANAL			
1-300 Superior		0,062 0,094		
	ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO			
1 - 100 101-200 201-300 Superior		0,045 0,048 0,051 0,089		
NIVEL VOLTAJE	BAJO VOLTAJE CON DEMANDA			
	COMERCIALES			1,414
	4,182	0,068		
	INDUSTRIALES			
	4,182	0,078		
	ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES			
	4,182	0,078		